

UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Reducción de la permeabilidad con la adición de 6% de ceniza de carbón, en losas aligeradas de concreto de $f'c=210$ kg/cm²

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Jhon René Condori Apaza
Enrique Brandon Gonzales Calla

Asesor:

Ing. Moises Araca Chile

Juliaca, setiembre 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

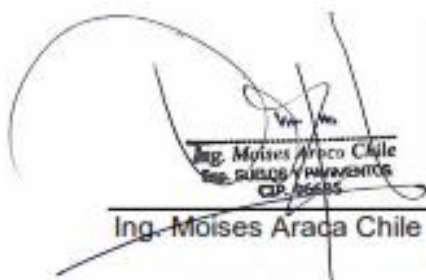
Ing. Moises Araca Chile, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"REDUCCIÓN DE LA PERMEABILIDAD CON LA ADICIÓN DE 6% DE CENIZA DE CARBÓN, EN LOSAS ALIGERADAS DE CONCRETO DE F'C=210 KG/CM²"**, constituye la memoria que presentan los Bachilleres Condori Apaza Jhon René y Gonzales Calla Enrique Brandon, para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 07 días del mes de Setiembre del año 2021.



Ing. Moises Araca Chile
Exp. 501005 / 11111111111111111111
CIP. 100000

Ing. Moises Araca Chile



128

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 27 día(s) del mes de mayo del año 2021, siendo las 17:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Duberly Pari Busi, el secretario: Mg. Erain Velasquez Mamani, y los demás miembros: Ing. Eder Mamani Chambi - Ing. Juana Beatriz Aguirre Pari y el asesor: Ing. Moisés Araca Chile.

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Reducción de la permeabilidad con la adición de 6% de ceniza de carbón, en losos aligerados de concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ".

de el(los)/a(las) bachiller/es: a) Jhon René Condori Apaza
b) Enrique Brandon Gonzales Balla
Ingeniero Civil
(Nombre del Título Profesional)

con mención en:

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Jhon René Condori Apaza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	Aceptable	Bueno

Candidato (b): Enrique Brandon Gonzales Balla

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	Aceptable	Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.


Secretario

Presidente

Asesor

Miembro

Miembro

Candidato/a (b)

Candidato/a (a)

Dedicatoria.

La presente tesis está dedicada a Dios por guiar mi sendero y hacer realidad unos de mis metas. Por su arduo e inacabable esfuerzo y sacrificio dedico esta tesis a mi querida madre Dominga Apaza Pilco, por muchas maneras de ofrecerme lo mejor en esta vida, muchos de los logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, también dedico a mi hermana Cris Yessica Condori Apaza por su apoyo incondicional y el haber confiado en mi persona, por el apoyo inmenso a todos los que formaron parte del proceso de mi formación profesional.

Jhon René Condori Apaza

Con todo mi cariño a mis amores, quienes son mis queridos padres que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Enrique Brandon Gonzales Calla

Agradecimiento

A Dios nuestro señor, por ser nuestro guía y compañía en cada momento a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad, y por brindarnos una vida llena de aprendizaje.

A la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca, Alma Mater que nos ha acogido durante todos los años de nuestra formación académica profesional, enseñándonos aspectos de la vida que ninguna clase formal pudiera enseñar, llevándonos una experiencia tan maravillosa e inolvidable. A nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por compartirnos sus conocimientos, experiencias y amistad durante nuestra etapa universitaria, por su tiempo y dedicación para formar profesionales competentes.

A nuestro Asesor de Tesis, Ingeniero Moises Araca Chile, por sus consejos, paciencia, apoyo y colaboración durante el desarrollo del presente proyecto de Tesis.

Índice general.

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice general.....	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	xii
Índice de gráficos.....	xiii
Índice de Anexos.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Capítulo I. Problemática.....	17
1.1. Planteamiento de Problema.....	17
1.2. Interrogante.....	17
1.2.1. Interrogante específico.....	17
1.2.2. Interrogantes específicos.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Hipótesis.....	19
1.4.1. Hipótesis general.....	19
1.4.2. Hipótesis específicas.....	19
1.5. Justificación.....	19
1.5.1. Justificación técnica.....	19
1.5.2. Justificación social.....	20
1.5.3. Justificación ambiental.....	21
1.5.4. Justificación económica.....	22
1.5.5. Justificación legal.....	22
Capítulo II. Marco Teórico.....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.2. Marco teórico.....	28
2.2.1. Losa Aligerada.....	28
2.2.2. Problemas estructurales – Losas Aligeradas.....	30
2.2.1. Fisuración en losas aligeradas.....	33
2.2.2. Factores que influyen en la permeabilidad.....	35
2.2.3. Cemento portlant.....	37
Capítulo III. Materiales y métodos.....	41

3.1.	Diseño de investigación.....	41
3.1.1.	Tipo de investigación.....	41
3.1.2.	Metodología de investigación.....	41
3.1.3.	Muestra.....	41
3.2.	Variables.....	45
3.2.1.	Identificación de variables para cada una de la hipótesis.....	45
3.2.2.	Operacionalización de variables.	48
3.3.	Instrumentos o técnicas de recolección de datos.....	49
3.3.1.	Metodología para la reducción de la permeabilidad de la losa aligerada de concreto con adicción de ceniza de carbón al 6%.....	49
3.4.	Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación	50
3.4.1.	Agregados.	51
3.4.2.	Cenizas de Carbón	52
3.4.3.	Diseño de Mezcla de Concreto, para la losa aligerada de concreto.	54
3.4.4.	Adición calculada para losa aligerada de concreto (Patrón, 6% de ceniza de carbón). 56	
3.4.5.	Diseño de losa aligerada de concreto armado en una sola dirección.....	57
3.5.	Procedimientos para la obtención de datos	62
3.5.1.	Ensayo de permeabilidad para losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ (permeámetro Torrent).....	62
3.5.2.	Ensayo de resistencia a la compresión del concreto NTP 339.034.	67
Capítulo IV.	Resultados y discusión.	70
4.1.	Presentación de resultados.....	70
4.1.1.	Permeabilidad de las losas aligeradas de concreto.....	70
4.1.2.	Resistencia a la compresión de las losas aligeradas.	73
4.1.3.	Propiedades físico químicas de la ceniza de carbón.....	75
4.2.	Prueba de hipótesis.	76
4.2.1.	Hipótesis general.	76
4.2.2.	Hipótesis específica 01.	80
4.2.3.	Hipótesis específica 02.	85
4.2.4.	Hipótesis específica 03.	88
4.3.	Discusión de resultados.....	99
4.3.1.	Ceniza de carbón.....	99
4.3.2.	Permeabilidad de losas aligeradas patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.....	101
4.3.3.	Porosidad de losas aligeradas de concreto patrón vs losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.	103
4.3.4.	Comparación de la Resistencia a la compresión.....	104
4.3.5.	Permeabilidad vs resistencia a la compresión.....	106

4.3.1.	Permeabilidad vs porosidad.....	107
4.3.2.	Porosidad vs resistencia a la compresión.	108
Capítulo V.	Conclusiones y Recomendaciones.....	110
5.1.	Conclusiones.	110
5.2.	Recomendaciones.	112
Capítulo VI.	Referencias.....	113
Capítulo VII.	Anexos.....	116

Índice de tablas.

Tabla 1 composición química de la ceniza volante de carbón y ceniza de hogar.....	28
Tabla 2 clasificación de fallas en estructuras de concreto.	35
Tabla 3 propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial.....	40
Tabla 4 coeficiente de confiabilidad (z).	42
Tabla 5 número de muestras a realizarse, ensayo de permeabilidad.	43
Tabla 6 número de muestras a realizarse, ensayo de resistencia a la compresión.....	44
Tabla 7 identificación de variables para la hipótesis general.....	45
Tabla 8 identificación de variables para la hipótesis específica 01.....	46
Tabla 9 identificación de variables para la hipótesis específica 02.....	47
Tabla 10 identificación de variables para la hipótesis específica 03.....	48
Tabla 11 operacionalización de la variable de permeabilidad de la losa aligerada.....	48
Tabla 12 operacionalización de la variable de permeabilidad de la losa aligerada.....	49
Tabla 13 resultados obtenidos de agregado fino y grueso.....	52
Tabla 14 proporciones para diseño de mezcla de losa aligerada.....	55
Tabla 15. proporciones calculadas para losa aligerada con adición de ceniza de carbón...	56
Tabla 16 espesor de losa aligerada de acuerdo a la luz.	57
Tabla 17 pesos propios, según el espesor de losa.	58
Tabla 18 clasificación de la permeabilidad del concreto en función de kt.....	64
Tabla 19 clasificación de la permeabilidad del concreto en función de kt.....	70
Tabla 20 permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	70
Tabla 21 permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con 6% de adición de ceniza de carbón.....	71
Tabla 22 permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con 8% de adición de ceniza de carbón.....	71
Tabla 23 permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, con 10% de adición de ceniza de carbón.....	71
Tabla 24 porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	72
Tabla 25 porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 6% de adición de ceniza de carbón.....	72
Tabla 26 porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 8% de adición de ceniza de carbón.....	72
Tabla 27 porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de carbón.....	73
Tabla 28 resistencia a la compresión del concreto (losa aligerada patrón).	73

Tabla 29 resistencia a la compresión del concreto (losa aligerada con adición de 6% ceniza de carbón).....	74
Tabla 30 resistencia a la compresión del concreto (losa aligerada con adición de 8% ceniza de carbón).....	74
Tabla 31 resistencia a la compresión del concreto (losa aligerada con adición de 10% ceniza de carbón).....	75
Tabla 32 propiedades químicas de la ceniza de carbón.	75
Tabla 33 propiedades físicas de la ceniza de carbón.....	76
Tabla 34 datos para el uso de la prueba t student (datos de permeabilidad).	78
Tabla 35 tabla de prueba f para permeabilidad.....	78
Tabla 36 prueba t student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón.....	79
Tabla 37 toma de decisión hipótesis general 01.	80
Tabla 38 datos para el uso de la prueba t student (datos de resistencia a la compresión)..	82
Tabla 39 tabla de prueba f para resistencia a la compresión.	83
Tabla 40 prueba t student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón.....	83
Tabla 41 toma de decisión hipótesis específica 01.	85
Tabla 42 propiedades químicas de la ceniza de carbón.	86
Tabla 43 propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial.....	86
Tabla 44 datos para el uso de la prueba t student (datos de permeabilidad para adición de 8% y 10% de ceniza de carbón).....	90
Tabla 45 tabla de prueba f para permeabilidad con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.....	90
Tabla 46 prueba t student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 8% de ceniza de carbón.....	91
Tabla 47 prueba t student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 10% de ceniza de carbón.	91
Tabla 48 toma de decisión hipótesis específica 03 (hipótesis de permeabilidad).	93
Tabla 49 datos para el uso de la prueba t student (datos de resistencia a la compresión para adición de 8% y 10% de ceniza de carbón).....	95
Tabla 50 tabla de prueba f para resistencia a la compresión con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.....	95
Tabla 51 prueba t student para resistencia a la compresión con muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 8% de ceniza de carbón.	96
Tabla 52 prueba t student para resistencia a la compresión con muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 10% de ceniza de carbón.	96

Tabla 53 toma de decisión hipótesis específica 03 (hipótesis de resistencia a la compresión).	99
Tabla 54 propiedades químicas de la ceniza de carbón.	99

Índice de figuras.

Figura 1 dimensiones losa aligerada.....	29
Figura 2 detalle de losa aligerada.	29
Figura 3 mala distribución de separaciones en obra. b) muy angosto la vigueta. c) vigueta deficiente provocado por el vertido brusco de hormigón. d) no existe viguetas.	31
Figura 4 encofrados de alta absorción de agua.....	32
Figura 5 relación agua cemento descontrolada.....	33
Figura 6 típica figuración por retracción plástica.	33
Figura 7 fisura formada debido a una precipitación obstruida.	34
Figura 8 agrietamiento temprano del hormigón debido a las altas temperaturas y por falta de curado.....	36
Figura 9 obtención de ceniza de carbón.....	52
Figura 10 diseño de losa aligerada de concreto.....	57
Figura 11. distribución de cargas por momento último.	59
Figura 12 detalle de losa aligerada calculada.	62
Figura 13 ensayo para determinar la permeabilidad en la losa aligerada.....	63
Figura 14 tipologías de falla en el concreto.	68
Figura 15 grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.....	79
Figura 16 grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.....	84
Figura 17 grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón.....	92
Figura 18 grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón.....	92
Figura 19 grafico estadístico para resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón.....	97
Figura 20 grafico estadístico para resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón.....	98

Índice de gráficos.

Grafico 1 propiedades químicas de la puzolana artificial vs ceniza de carbón	87
Grafico 2 permeabilidad de la losa aligerada. patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.....	101
Grafico 3 porosidad de la losa aligerada. patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.....	103
Grafico 4 resistencia a la compresión de losas aligeradas.	104
Grafico 5 permeabilidad vs resistencia a la compresión losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.	106
Grafico 6 porosidad vs permeabilidad de losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.....	107
Grafico 7 porosidad vs resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.	108

Índice de Anexos.

Anexo a ensayos de agregados.....	116
Anexo b ensayos realizados a ceniza de carbón.....	124
Anexo c resistencia a la compresión.	130
Anexo d panel fotográfico.	134

Resumen.

En la ciudad de Juliaca el 51% de la población hace uso del concreto armado (losa aligerada), como cobertura (techo) para sus hogares. La losa aligerada posee una propiedad física denominada permeabilidad, la cual se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas, por los poros del material, en el momento que la losa aligerada se encuentre en contacto directo con las inclemencias climáticas (lluvias) permitirá la filtración del agua en la estructura, lo cual genera la producción de humos, humedad, salinidad, corrosión, cambios de temperatura o malos olores, que causan daños a las personas, a la propia edificación y a terceros. De tal manera el objetivo de la investigación consiste en la reducción de la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto, con la adición de ceniza de carbón en 6%, por lo cual, se realizó ensayos comparativos entre la losa aligerada patrón y la losa aligerada adicionado 6% de ceniza de carbón. Se ha evaluado las propiedades de permeabilidad, porosidad y la resistencia a la compresión, mediante una comparación estadística entre la losa aligerada patrón y la losa aligerada adicionada con ceniza de carbón. Al finalizar los ensayos respectivos, se obtuvo la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón, se observa que disminuye significativamente su permeabilidad, dando el rango de “muy baja permeabilidad”, frente a la losa aligerada patrón que posee la etiqueta de “permeabilidad moderada”, observando menor permeabilidad en las losas aligeradas con adición de 6% de ceniza de carbón. esto se debe a las propiedades químicas de la ceniza de carbón, el cual posee en su composición química elementos como el, óxido de aluminio (Al_2O_3), Óxido de Hierro (Fe_2O_3), Carbonato de calcio (CaCO_3), Óxido de potasio (K_2O), los cuales hacen posible la reducción de la permeabilidad de la losa aligerada, dichos compuestos químicos mejoran la resistencia a los sulfatos y la reducción de la permeabilidad por reducción de corrosión de acero, mejor defensa ante agua del mar y resistencia a hidrosilicatos, hidroaluminatos, disminución del calor de hidratación y reducción de las grietas de fraguado.

Palabras clave: Permeabilidad, Resistencia a la compresión, adición, Ceniza de carbón, Losas aligeradas.

Abstract.

In the city of Juliaca, 51% of the population makes use of reinforced concrete (lightened slab) as a covering (roof) for their homes. The lightened slab has a physical property called permeability, which refers to the amount of migration of water or other liquid substances, through the pores of the material, at the time that the lightened slab is in direct contact with inclement weather (rains) allow the filtration of water in the structure, which generates the production of smoke, humidity, salinity, corrosion, changes in temperature or bad odors, which cause damage to people, the building itself and third parties. In this way, the objective of the research consists of reducing the permeability of lightened concrete slabs, with the addition of 6% carbon ash, for which comparative tests were carried out between the lightened pattern slab and the lightened slab. 6% coal ash added. The properties of permeability, porosity and resistance to compression have been evaluated through a statistical comparison between the standard lightened slab and the lightened slab added with coal ash. At the end of the designated tests, the permeability of lightened concrete slabs with the addition of 6% carbon ash was obtained, where it is observed that their permeability decreased, giving the range of "very low permeability", compared to the lightened slab pattern that It has the label of "moderate permeability", observing less permeability in those lightened with the addition of 6% of coal ash. This is due to the chemical properties of coal ash, which has in its chemical composition elements such as aluminum oxide (Al_2O_3), Iron oxide (Fe_2O_3), Calcium carbonate ($CaCO_3$), Potassium oxide (K_2O), which make possible the reduction of the permeability of the lightened slab, said chemical compounds improve the resistance to sulfates and the reduction of permeability by reducing steel corrosion, better defense against sea water and resistance to hydrosilicates, hydroaluminates, reduction of heat of hydration and reduction of setting cracks.

Keywords: Permeability, Compressive Strength, Addition, Coal Ash, Lightened Slabs

Capítulo I. Problemática.

1.1. Planteamiento de Problema.

El (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2013) en la “Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza 2013” menciona que en la ciudad de Juliaca el 51% de la población hace uso del concreto armado (losa aligerada), como cobertura (techo) para sus hogares. La losa aligerada posee una propiedad física denominada permeabilidad, la cual se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas, por los poros del material, en el momento que la losa aligerada se encuentre en contacto directo con las inclemencias climáticas (lluvias) permitirá la filtración del agua en la estructura, lo cual genera la “producción de humos, humedad, salinidad, corrosión, cambios de temperatura o malos olores, que causan daños a las personas, a la propia edificación y a terceros” (Reglamento nacional de edificaciones., 2006).

Ante tal problema, se propone adicionar ceniza de carbón en la elaboración de losas aligeradas de concreto, con la finalidad de reducir la permeabilidad frente a mezclas de concretos convencionales, el porcentaje de adición que se utilizara es del 6% de ceniza, ya que según (Contreras Cueva & Peña Villalobos, 2017) “La dosificación óptima es del 6% de adición de ceniza de carbón” por otra parte (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018), afirman que “La ceniza volante utilizada en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 0% al 7.5% mantiene una resistencia normal según especificación”. A la vez, los autores antes citados, mencionan que adiciones mayores al 6 % son dañinos para el concreto, por tal motivo, se evaluara muestras con adiciones mayores al 6%, para poder analizar porque con la adición de ceniza de carbón iguales o mayores al 8% son contraproducentes en la permeabilidad de la losa aligerada de concreto.

1.2. Interrogante.

1.2.1. Interrogante específico.

- ¿Cuál es la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de 6% ceniza de carbón?

1.2.2. Interrogantes específicos.

- ¿Cómo influye la adición de 6% de ceniza de carbón, en la resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?
- ¿Qué propiedades físico químicas posee de la ceniza de carbón, que hacen posible la reducción de la permeabilidad en la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?
- ¿Por qué la adición de ceniza de carbón en el cemento iguales o mayores al 8% son contraproducentes en la permeabilidad y la resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

- Reducir la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de ceniza de carbón de 6%.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Analizar cómo influye la adición de 6% de ceniza de carbón, en la resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.
- Determinar las propiedades físico químicas de la ceniza de carbón que hacen posible la reducción de la permeabilidad en la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.
- Analizar porque con la adición de ceniza de carbón iguales o mayores al 8% son contraproducentes en la permeabilidad y la resistencia a la compresión de la losa aligerada de concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general.

- La permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ será reducida con la adición de ceniza de carbón de 6%.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- la adición de 6% de ceniza de carbón, incrementara la resistencia a la compresión en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.
- La ceniza de carbón posee propiedades físico químicas que hacen posible la reducción de la permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.
- La adición igual o mayor de 8% de ceniza de carbón, hace que la propiedad de permeabilidad aumente y la resistencia a la compresión disminuya en la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

1.5. Justificación.

1.5.1. Justificación técnica.

Desde el punto de vista técnico se dejará de usar el mismo tipo de solución ante el problema de filtración de agua en losas aligeradas de concreto, el cual, consiste en agregar aditivos impermeabilizantes antes y después de la mezcla del concreto, siempre en cuando el proyecto tenga la disponibilidad de adquirir el aditivo impermeabilizante, En este caso en particular, se desea promover la adición de un tipo de material diferente en la elaboración de concreto con la finalidad de garantizar la reducción de la permeabilidad de losas aligeradas de concreto, frente a muestras convencionales.

A la vez (Diana M. Burgos, 2012) quien presenta el artículo científico titulado “Durabilidad de morteros adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón”, los morteros adicionados con un 10% de ceniza volante, que presentaron un mayor coeficiente

de resistencia a la penetración de agua (m), menor coeficiente de absorción capilar (K) y porosidad efectiva (e) con respecto a las demás mezclas. Esto indica que la adición de CV en un porcentaje del 10% fue efectiva en la modificación de la microestructura del material, también (Contreras Cueva & Peña Villalobos, 2017) menciona “En cuanto a la permeabilidad la dosificación óptima es del 6% de adición de ceniza de carbón” también (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018), afirma que “La ceniza volante utilizada en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 0% al 7.5% mantiene una resistencia normal según especificación”, otro justificante es (Atoche, 2018) presentando la tesis titulada “Influencia de la ceniza volante “fly ash” como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”, en la página 110, en la tabla 53. Se observa que el concreto con adición mayor al 10% no cumplen el estándar mínimo de resistencia a la compresión, por ende, justificada que adiciones mayores al 10% de ceniza volante de carbón son contraproducentes para el concreto.

De esta manera tras la evaluación de los antecedentes presentados, se confirma que la adición de 6% de ceniza de carbón es el porcentaje idóneo para la reducción de la permeabilidad de las losas aligeradas.

1.5.2. Justificación social.

Desde el punto de vista social la ciudad de Juliaca posee un crecimiento poblacional alto, por lo cual crece la demanda de viviendas que proporcionen calidad de vida a sus habitantes, el 51 % de la población juliaqueña utiliza las losas aligeradas como techos para sus hogares, elemento estructural que debe evitar la acumulación e filtración de agua en sus viviendas, sin embargo, tiende a generar problemas estructurales y arquitectónicos.

De acuerdo 20 minutos (2011) Afirma que “las humedades estructurales pueden ser el origen de graves problemas en la edificación. Causan pérdida de solidez en los muros de carga y afectan directamente a la seguridad de edificios, viviendas y construcciones. De no

atajarse a tiempo, se puede llegar a asentamientos de muros maestros, según expertos de la empresa Murprotec, dedicada al tratamiento de este tipo de humedades”.

A la vez la (OMS, 2009). En la guía de control de calidad de aire interior; Humedad y moho, La OMS estableció que hay evidencia epidemiológica suficiente para concluir que los ocupantes de edificios con humedad están en riesgo de desarrollar síntomas del tracto respiratorio superior e inferior (incluidos la tos y el silbido al respirar), infecciones respiratorias, asma y exacerbación del asma. Por otra parte, el informe de la OMS determinó que hay evidencia limitada que sugiere una relación entre los edificios con humedad y la bronquitis y la rinitis alérgica, y que hay evidencia clínica que sugiere que la exposición al moho y otros agentes microbianos en los edificios con humedad puede aumentar el riesgo de desarrollar neumonitis por hipersensibilidad, rinosinusitis crónica y sinusitis micótica alérgica. También establece la estimación de la carga de enfermedad según el factor relacionado con el ambiente que la causa en este caso: la enfermedad es el asma, la carga estimada un 20% de prevalencia y la causa; exposición en interiores a humedad, ácaros y alérgenos fúngicos.

Es así que se propone solucionar los problemas de humedad en los hogares, mediante la adición de ceniza de carbón en la mezcla de concreto de la losa aligerada y así reducir la permeabilidad. para evitar los problemas de salud ya mencionados y mejorar el confort de la vivienda.

1.5.3. Justificación ambiental.

Desde el punto de vista ambiental, las cenizas de carbón constituyen un residuo ecológicamente problemático que los hogares deben eliminar, evitando su presencia en los depósitos donde son acumulados y ubicadas al aire libre. De acuerdo a Estrada (2016) afirma que “las cenizas producidas en las centrales eléctricas de carbón se acumulan diariamente, mezcladas con metales pesados y toxinas, y crean uno de los problemas más difíciles del mundo desarrollado. Antes del derrame de cenizas de carbón en Kingston, en 2008, la EPA

había acumulado como mínimo 70 casos en los que las cenizas procedentes del carbón habían causado muertes de peces, contaminado agua potable y tierras”.

Si bien las cenizas de carbón es un material contaminante para el medio ambiente, su adición en pequeñas cantidades a las mezclas del concreto se puede emplear para el mejoramiento del desempeño del concreto tanto en estado fresco como endurecido y así obtener un concreto para satisfacer la aplicación deseada.

1.5.4. Justificación económica.

Desde el punto de vista económico, el costo del material ceniza de carbón es mínimo, ya que se genera por incineración de carbón y es tratado como desecho orgánico; Si tomamos en consideración el precio de los aditivos impermeabilizantes respecto a la ceniza de carbón, el método que se propone es significativamente más económico.

1.5.5. Justificación legal.

1.5.5.1. *Justificación legal de la investigación.*

Desde el punto de vista legal el (Reglamento nacional de edificaciones., 2006), en la Norma GE-040, Capítulo II, Artículo 9: “El uso de la edificación debe evitar la producción de humos, humedad, salinidad, corrosión, cambios de temperatura o malos olores, que puedan causar daños a las personas, a la propia edificación o a la de terceros”.

A la vez el (Reglamento nacional de edificaciones., 2006), en la Norma A-020 capítulo III Artículo 23 manifiesta lo siguiente, “Las cubiertas ligeras deberán evitar la filtración de agua hacia el interior de la vivienda, y estar fijadas a la estructura de manera de resistir la acción de los vientos dominantes”. El último techo de una vivienda unifamiliar de varios pisos o multifamiliar, deberá tener un aislamiento térmico que permita un nivel de confort similar al de los demás pisos. Los techos deben contar con un sistema de evacuación del agua de lluvias hasta el suelo o hasta el sistema de alcantarillado. Deberá evitarse el posible empozamiento de agua de lluvias. Las cubiertas inclinadas deben ser capaces de permitir el acceso de

personas para reparación o mantenimiento. Deberá evitarse el posible empozamiento de agua de lluvias.

Como podemos observar la norma peruana que rige la construcción de cualquier edificación, en sus párrafos, manifiesta que el agua no debe filtrarse en la viviendas unifamiliares y multifamiliares, no debe existir empozamiento de agua en las cubiertas y toda cubierta de vivienda debe ser impermeabilizada, para evitar problemas estructurales y mejorar el confort familiar.

1.5.5.2. Justificación legal para ensayo permeabilidad Torrent.

La (Norma Suiza, 2003) establece: “La impermeabilidad del hormigón de recubrimiento debe verificarse mediante ensayos de permeabilidad (midiendo la permeabilidad al aire) aplicados sobre la estructura o sobre testigos extraídos de la misma”.

(American Society of Testing Materials) en la norma ASTM C1202 establece: El método de ensayo que cubre la evaluación en laboratorio de la conductividad eléctrica de muestras de concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones cloruro. En la mayoría de los casos, los resultados de la conductividad eléctrica han demostrado una buena correlación con los ensayos de saturación por inmersión de cloruro, en losas adicionales moldeadas con las mismas mezclas del concreto Este método de ensayo es adecuado para la evaluación de materiales y proporciones de materiales con fines de diseño e investigación y desarrollo. La edad de la muestra tiene efectos significativos en los resultados del ensayo, dependiendo del tipo de concreto y el procedimiento de curado. La mayoría de los concretos, si se curan adecuadamente, se vuelven progresivamente y significativamente menos permeables con el tiempo.

Capítulo II. Marco Teórico.

2.1. Antecedentes.

La mayoría de las investigaciones están orientadas al aprovechamiento de las propiedades físicas mecánicas de los diferentes materiales para contribuir a la mejora del material. De esta manera se presenta algunas investigaciones que guardan relación con la presente investigación.

(Contreras Cueva & Peña Villalobos, 2017), en su investigación titulada: “Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla”. Demuestra que: Al añadir la ceniza volante de carbón al 1.5%, 3%, 4.5% y 6%, aumentó la resistencia a la compresión y disminuyó la permeabilidad en el concreto. Por lo tanto, a mayor capacidad de soporte de carga, mayor prestación del concreto para requerimientos de resistencia a la compresión; por otro lado, a menor penetración de agua en el concreto, mayor prestación de concretos de baja permeabilidad. La incorporación de ceniza volante de carbón para influenciar en la resistencia a la compresión de un concreto requiere de una dosificación que se encuentra entre el 1.5% y 6%, para generar un aumento significativo, lo que quiere decir que una estructura puede resistir mucha más carga para la que fue diseñada antes del colapso. En cuanto a la permeabilidad la dosificación óptima está por encima del 6%, sin embargo, las dosificaciones utilizadas fueron de gran incidencia, ya que genera una disminución considerable en la permeabilidad de un concreto.

Atoche (2018), en su tesis titulada: “Influencia de la ceniza volante “fly ash” como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ”. Logró evidenciar que: al evaluar las propiedades físicas químicas de la ceniza volante, en la trabajabilidad del concreto (prueba de asentamiento “*Slump*”), en la resistencia a la compresión del concreto y la variación del costo de producción de este. Se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón, que no contenía ceniza volante con un concreto que

si contenía ceniza volante en diferentes porcentajes (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) como sustituto parcial del cemento portland en peso. El concreto patrón se diseñó para lograr una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a una edad de 28 días. Las propiedades del concreto que se observaron fueron la trabajabilidad y la resistencia a la compresión ensayados a 7, 14 y 28 días de edad del concreto. Se utilizó cemento portland tipo IP, el curado de testigos de concreto se realizó a temperatura ambiente, cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona. Se logró obtener un concreto con ceniza volante de resistencia superior a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, para este concreto con ceniza volante los porcentajes de sustitución parcial de ceniza volante fueron de 5% y 10% del peso del cemento.

(Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018), en su trabajo de investigación titulada: “Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento”. Explica que la Central Térmica Ilo 21 genera electricidad a base de carbón y cuyo residuo es la ceniza volante, material contaminante del medio ambiente, el cual es utilizada como adición al cemento para la fabricación del concreto de las diferentes obras civiles, en tal sentido el objetivo del presente estudio fue la dosificación de mezclas de concreto adicionando ceniza volante de tal manera que no disminuya la resistencia y ayude a mitigar el medio ambiente. El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados indican que a los 28 días se tienen resistencias en promedio de 221kg/cm² para concreto normal, para concreto con 2.5% de ceniza volante 223kg/cm², para el 5.0% 231kg/cm², para el 10.0% 200 kg/cm² y 192kg/cm² para el 15% de ceniza volante respectivamente. En conclusión, la ceniza volante se debe utilizar como sustitución al cemento en un rango menor al 10%, más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, por lo que puede resultar perjudicial a la hora de realizar los controles de calidad.

(Claudia Patricia Valderrama, 2011), en su investigación titulada: “Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volantes de alto nivel de inquemados”.

En esta investigación se demuestra que: Con la adicción de ceniza volante y óptimo porcentaje de ceniza volante al 10% desde el punto de vista mecánico, sin embargo, incrementos en el porcentaje dan lugar a efectos positivos en las propiedades de absorción capilar y permeabilidad a cloruros. Y como recomendación nos recomienda realizar mezclas de concretos adicionados con cenizas volantes en porcentajes superiores al 30%.

(Yapuchura Platero, 2019), en su investigación titulada: “influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de $f'_c=210$ kg/cm² utilizando agregado de la cantera arunta – Tacna.”. Se observa que la investigación tiene como finalidad evaluar la influencia de la ceniza volante en el incremento a la resistencia a compresión y flexión para losas de concreto de $f'_c=210$ kg/cm², utilizando agregados de la cantera Arunta, en la ciudad de Tacna. A los agregados utilizados durante el desarrollo de la presente investigación (grueso y fino), se les realizó los respectivos ensayos indicados en la norma ASTM para averiguar sus propiedades físicas, mientras que las propiedades físicas del Cemento fueron proveídas por el fabricante. La dosificación de la ceniza volante que se utilizó fue en base a porcentajes propuestos. La Central térmoelectrica Ilo 21 genera electricidad a base de quema de carbón y cuyo residuo es la ceniza volante, material contaminante del medio ambiente, el cual lo usamos como sustituto del cemento para la elaboración del concreto, en tal sentido el objetivo de la presente tesis fue obtener la dosificación de mezcla para concreto, adicionando ceniza volante en reemplazo del cemento de tal manera que no disminuya la resistencia a compresión y flexión y ayude a mitigar el impacto al medio ambiente. El material y método empleado es el concreto normal con adiciones de ceniza volante en reemplazo con el cemento en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 7, 14, 28 y 90 días para la resistencia a compresión y en proporciones de 2.5%, 5.0%, 10.0% y 15.0% para roturas a los 28 días para la resistencia a flexión.

(Barreda Arias & Cahuata Mercado, 2018), Presenta en la tesis titulada. “Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de concreto armado”. En la investigación presentada se evalúa la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización en estructuras hidráulicas de concreto armado; para ello se confeccionaron concretos de diferentes tipos: concreto (concreto sin impermeabilizante – CSI, concreto con impermeabilizante sella poros – CISP y concreto con impermeabilizante por cristalización – CIC), y a su vez cada tipo de concretos con relaciones agua/cemento 0,35, 0,40, 0,45 y 0,50. A la vez desarrolla las bases teóricas el cual nos indica que la permeabilidad del concreto es un concepto que está relacionado con distintos factores, tales como: la relación agua cemento, porosidad del concreto y curado del concreto. Son estos factores y las condiciones a las que se encuentra expuesta la estructura los que terminan ocasionando daños a la misma. En el capítulo tres se establecen las diferentes metodologías para determinar la permeabilidad del concreto en base a métodos normalizados y a la implementación de un procedimiento para determinar el auto sellado de fisuras. Así mismo, en el capítulo cuatro y cinco determinamos las propiedades de los materiales y la dosificación para los diferentes tipos de concreto de los cuales se obtendrán muestras representativas, las mismas que serán ensayadas de acuerdo a normas y procedimientos implementados para la presente investigación tal como se desarrolla en el capítulo cinco.

En la ficha técnica presentado por Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), nos resume que la composición física química de la ceniza volante de carbón y la ceniza de hogar, son parecidas y comparten muchas propiedades, la principal diferencia es el tamaño de partículas y el grado de degradación molecular (CEDEX,2011).

Tabla 1

Composición química de la ceniza volante de carbón y ceniza de hogar.

Compuesto	Cenizas con alto contenido de calcio	Cenizas con bajo contenido de calcio
SiO ₂	34.1	42.6-59.8
Al ₂ O ₃	14.2	21.8-34.5
Fe ₂ O ₃	7.2	6.3-18.1
CaO	37	2.8-7.0
SO ₃	4.2	0.19-1.9
MgO	1.5	1.2-2.6
K ₂ O	1.4	0.38-6.0
Na ₂ O	0.44	0.15-0.94
Sílice reactiva	30.9	0.94
Cal libre	17.1	inapreciable-0.74
Carbono total	0.34	0.27-3.9

Fuente: Cenizas volantes de Carbón y cenizas de hogar o escorias, 2011.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Losa Aligerada.

La losa aligerada es un techo de concreto armado (compuesto de piedra chancada, arena gruesa, agua, y reforzado con varillas de acero), que para aligerar o alivianar su peso se le colocan ladrillos caracterizados por ser huecos.

Este tipo de techo corresponde a los diferentes pisos de una vivienda o edificación ya sea techo de primer piso, segundo piso y hasta llegas a la azotea. Siempre van apoyadas en vigas soleras, recomendadas en las siguientes luces.

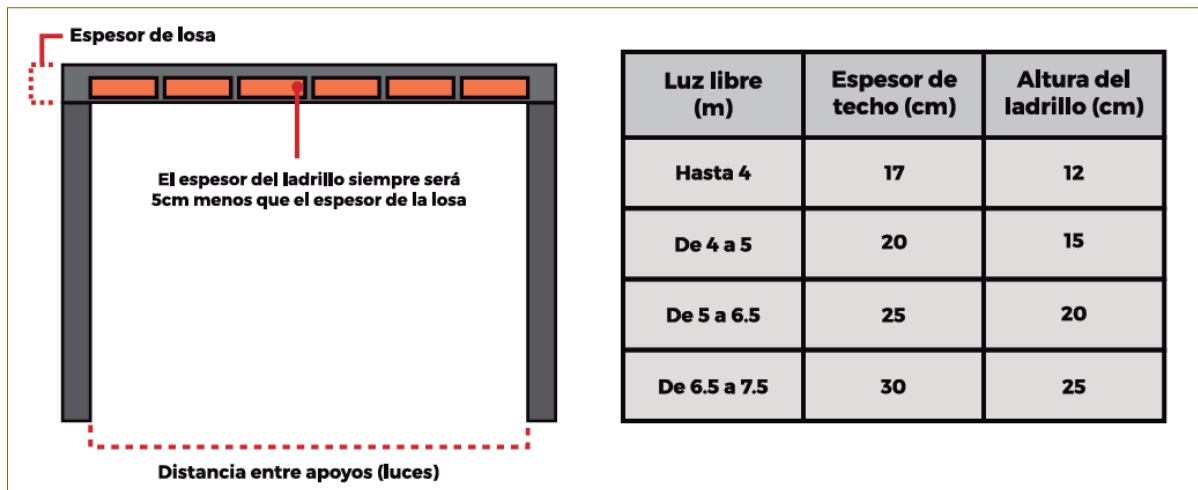


Figura 1 Dimensiones losa aligerada.

Fuente: (Maestro Homer Center, 2016)

2.2.1.1. Diseño de losas aligeradas.

En el Perú el uso de losas aligeradas en una o dos direcciones es bastante común por la posibilidad de colocar ladrillos huecos que reducen el uso de concreto y sirven como encofrado perdido para las viguetas. El vaciado del techo se realiza todo en conjunto, por lo tanto, las secciones de las vigas de techo toman forma de T y se les denomina “viguetas”.

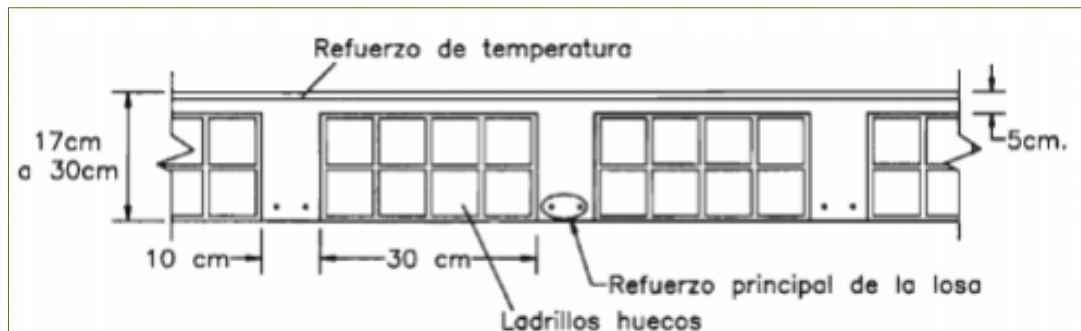


Figura 2 Detalle de losa aligerada.

Fuente: Geometría de una losa aligerada (Harmsen , 1995).

De acuerdo a la Figura 2, Harmsen (1995) muestra la geometría de una losa aligerada. Por otro lado, el diseño de la losa se realiza por vigueta. Por lo general se selecciona la vigueta más crítica y su diseño se aplica a las demás con la finalidad de que exista uniformidad en la distribución del refuerzo.

2.2.1.2. *Encofrado y Refuerzo de aceros en losas aligeradas.*

Lo primero se debe de colocar la tabla para el fondo de vigueta y su respectivo pie derecho donde corresponda, así mismo se colocan tablas laterales.

El 100 % de las losas aligeradas llevan entre las filas de ladrillo un refuerzo de varillas de construcción. El diámetro de estas varillas depende del diseño de la losa, y el diseño depende de la carga neta. Además, en sentido transversal al refuerzo principal y sobre los ladrillos, se colocarán otras varillas de acero de menor diámetro que se encargarán de absorber los esfuerzos producidos por la temperatura o por la dilatación del acero,

2.2.2. *Problemas estructurales – Losas Aligeradas.*

Las patologías estructurales en losas surgen por defectos producto de un mal diseño, materiales deficientes o inapropiados, incorrecta configuración estructural, construcción mal concebida entre otros (Villacreses Viteri, Mieles Bravo, Alcívar Moreira, & Pinargote Santana, 2018)

2.2.2.1. *Llenado por etapas.*

Las viguetas y la loseta de compresión deben ser llenadas en una sola etapa, para evitar la disgregación del hormigón y formación de junta fría, el vertido del hormigón por etapas es un error propio de la tradición constructiva y este procedimiento corresponde al 100% de la muestra tomada. La Figura 3 muestra la disgregación del material que se produce al llevar a cabo un hormigonado por etapas.

2.2.2.2. *Tuberías o ductos mal ubicados.*

Las bajantes de tuberías no deben estar ubicadas en puntos críticos de las vigas o nervios donde los esfuerzos sean máximos (cortantes y momentos). La figura 3 muestra una serie de errores entre los que podemos mencionar la mala colocación en planta de los ductos, ductos que atraviesan vigas reduciendo considerablemente la sección transversal de estas en las zonas más críticas de esfuerzos, este último punto lleva además incluido el hecho de

que para concebirlo es necesario “remove” una serie de estribos en las vigas afectando aún más su capacidad resistente a corte.

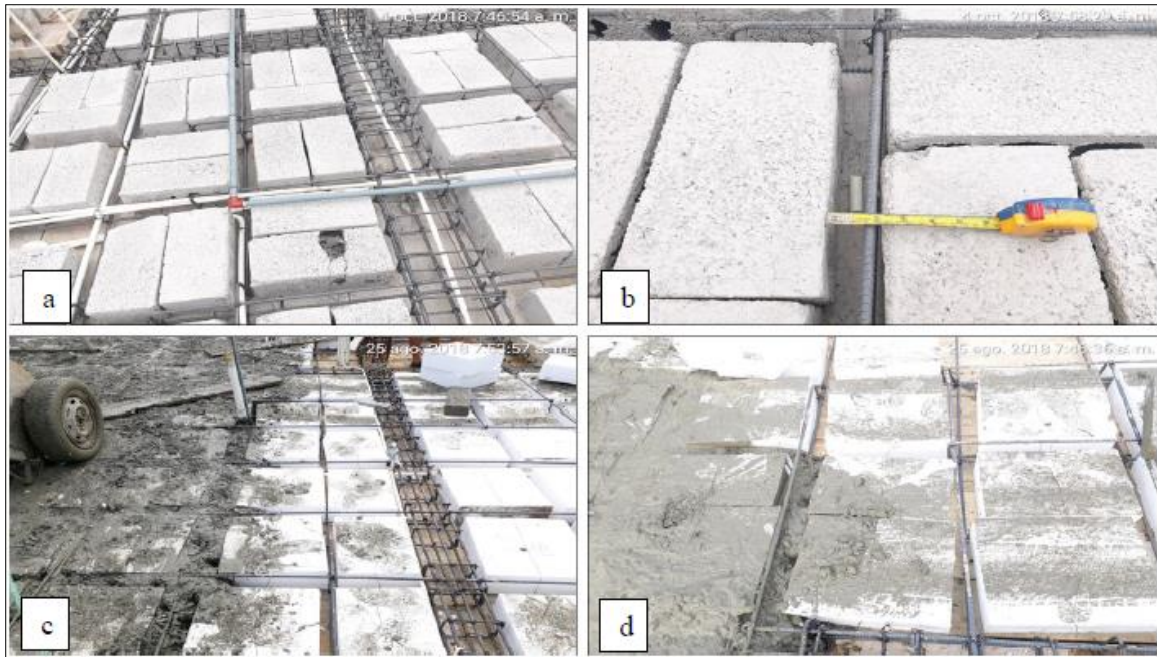


Figura 3 Mala distribución de separaciones en obra. b) muy angosto la vigueta. c) vigueta deficiente provocado por el vertido brusco de hormigón. d) no existe viguetas.

Fuente: (Villacreses Viteri, Mieles Bravo, Alcívar Moreira, & Pinargote Santana, 2018)

2.2.2.3. *Encofrados Permeables.*

El proceso de encofrado o cimbrado para losas en nuestro entorno generalmente se lo realiza con madera y ésta a la vez tiene un porcentaje alto de absorción de agua, considerándolo así un material permeable. Además, al momento de realizar el montaje del encofrado se pueden tener fallas entre las juntas de tablas o huecos que permite la fuga de lechada (combinación de cemento agua y el árido fino), produciendo así oquedades debido a la pérdida de la parte más fluida del hormigón.



Figura 4 Encofrados de alta absorción de agua.

Fuente: (Villacreses Viteri, Mieles Bravo, Alcívar Moreira, & Pinargote Santana, 2018)

2.2.2.4. Bloques de ladrillo o concreto en mal estado.

Lo ladrillos aligerantes tiene resistencias pobres o reciben poco cuidado en el tránsito de la etapa de construcción, estos tienen un alto porcentaje de absorción de agua. La absorción que propiamente cada ladrillo genera, restando así parte del agua de amasado que necesita la mezcla vertida para que pueda cumplir su fraguado paulatino en las primeras horas después del hormigonado.

2.2.2.5. Mezclado del hormigón sin control en la cantidad de los materiales y relación agua cemento.

La problemática se genera por la utilización excesiva del agua de amasado por parte del equipo operativo de fundición para la maniobrabilidad de la mezcla, esto conlleva a una baja de resistencia final del hormigón, produciéndose así daños en un futuro de la estructura por el incumplimiento de la resistencia necesaria de diseño.



Figura 5 Relación agua cemento descontrolada.

Fuente: (Villacreses Viteri, Mieles Bravo, Alcívar Moreira, & Pinargote Santana, 2018)

2.2.1. Fisuración en losas aligeradas

2.2.1.1. *Por retracción plástica*

De acuerdo a la norma (American Concrete Institute, 2008). La fisuración por retracción plástica se da por la pérdida de humedad rápida y por una combinación de factores tales como la temperatura del aire y el concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento; siendo así que, estos factores se combinan y producen altos valores de evaporación superficial.

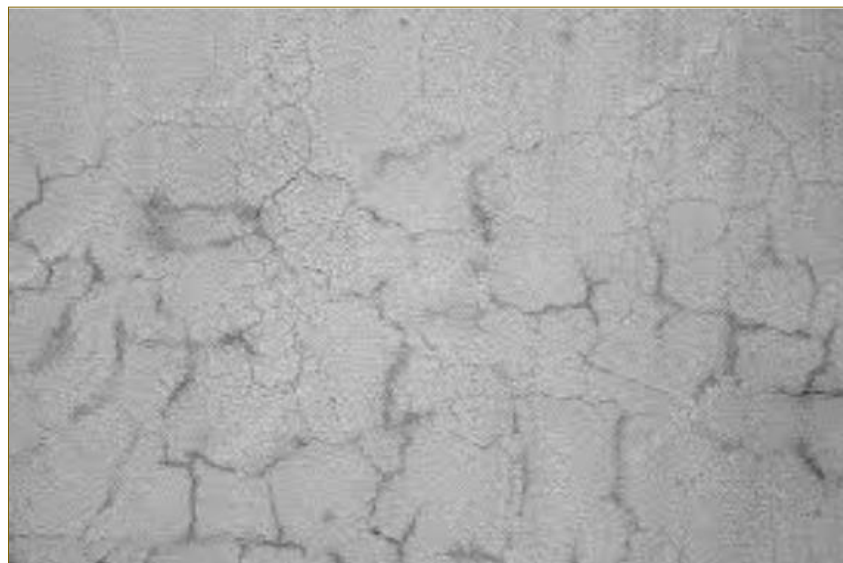


Figura 6 Típica figuración por retracción plástica.

Fuente: (American Concrete Institute, 2008).

2.2.1.2. Por precipitación de los agregados

De acuerdo a la norma (American Concrete Institute, 2008) La fisuración por precipitación de los agregados se da porque después de la colocación, vibración y el acabado el concreto continúa con su consolidación haciendo que se presenten vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que puede generar restricción como armaduras o encofrados.

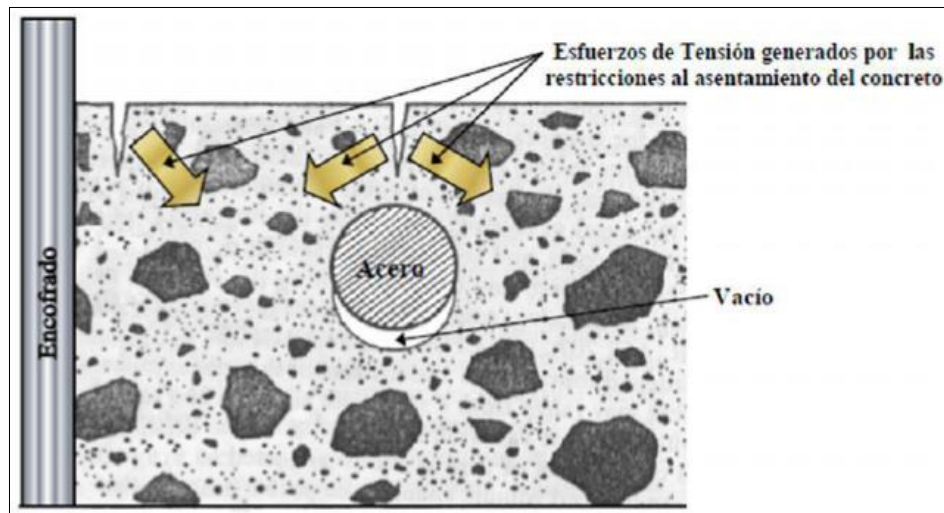


Figura 7 Fisura formada debido a una precipitación obstruida.

Fuente: (American Concrete Institute, 2008).

2.2.1.3. Retracción por secado.

De acuerdo a la norma (American Concrete Institute, 2008) La retracción por secado se da por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, llegando a contraerse hasta en un 1% y generando un cambio de volumen de 0.06%. Es también la combinación de la retracción y la restricción lo cual provoca el desarrollo de tensiones de tracción.

2.2.1.4. Tensiones de origen térmico.

Según la norma (American Concrete Institute, 2008), Las diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales en el volumen, si las tensiones de tracción superan la capacidad de deformación por tracción del concreto, este se fisurará.

Tabla 2

Clasificación de fallas en estructuras de concreto.

Clasificación	Espesor (mm)	Descripción
Micro fisuras	< 0.05	En general carecen de importancia
Fisuras	Mayor a 0.1 y menor a 0.2	Son pocas peligrosas, salvo en ambientes agresivos en los que puede favorecer la corrosión.
Macro fisuras	Mayor a 0.2 y menor a 0.4	Son el tipo que pueden tener repercusiones estructurales de importancia
Grietas	Mayor a 0.4 y menor a 1	Existe reducción en la capacidad sismo resistente. Debe desocuparse el edificio, proceder a una rehabilitación temporal
Fractura	Mayor a 1 y menor a 5	Existe una reducción importante en la capacidad sismo resistente. Debe procederse a una evaluación definitiva urgente, para determinar si se procede a la demolición.
Dislocación	Mayor a 5	

Fuente: (Fernandez Ladera & Huarcaya Escobedo, 2019).

2.2.2. Factores que influyen en la permeabilidad

En la práctica existen varios factores que influyen en la permeabilidad del concreto desde su etapa de producción, transporte y colocación. Estos factores serán determinantes a la hora que la estructura de concreto entre en servicio y sea capaz de mantener sus propiedades en toda su vida útil. A continuación, mencionamos factores que afectan directamente a la permeabilidad del concreto:

2.2.2.1. Relación agua/cemento

La relación agua/cemento en el concreto hace referencia a la cantidad de agua por unidad de cemento que forman la pasta, los estudios demuestran que solo el 25% del volumen de agua es utilizado para hidratar el cemento y el resto se evapora dejando espacios libres que afecta directamente a la resistencia del concreto siendo un factor que influye en la permeabilidad llegando a la conclusión de que a mayor relación agua-cemento, mayor será la permeabilidad del concreto.

2.2.2.2. Porosidad

La porosidad en el concreto endurecido se da como consecuencia de la manipulación al momento de colocar el concreto (macro poros), del agua de mezclado que será utilizada en el proceso de hidratación (poros capilares) y de los poros entre los granos del cemento (poros gel). Siendo los dos primeros los que más influyen en la permeabilidad, por su tamaño y su facilidad a la hora de crear red de poros hasta al punto de crear micro fisuras que ayudaran a que el agua se transporte a través de ellos afectando las propiedades del concreto sobre todo si este se encuentra en constante contacto con el agua como es el caso de estructuras de contención de agua.

2.2.2.3. Curado del concreto

Otro factor importante que influye en la permeabilidad del concreto es el curado, una vez colocado el concreto es de vital importancia humedecerlo para que el cemento continúe su proceso de hidratación dentro del concreto, mientras más tiempo este en contacto con el agua mayor será su resistencia y su durabilidad.



Figura 8 Agrietamiento temprano del hormigón debido a las altas temperaturas y por falta de curado.

Fuente: (Villacreses Viteri, Mieles Bravo, Alcívar Moreira, & Pinargote Santana, 2018).

En cambio, si no lo curamos adecuadamente (T° del agua = $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$), el concreto perderá humedad debido a la evaporación del agua influyendo negativamente en la hidratación del cemento. Los poros dejados por el agua que se evaporo llegarán a afectar la

permeabilidad cuando el concreto este expuesto a presión de agua y dependiendo de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento) y la temperatura del concreto, este podría llegar a fisurarse causando graves daños a la estructura y propiedades del concreto.

2.2.2.4. Otros factores

Al relacionar la durabilidad y el deterioro del concreto se puede entonces mencionar algunos otros factores que son los responsables del deterioro del concreto:

- Factores que son propios del concreto: las características de los agregados, el tipo de cemento utilizado en la fabricación.
- Los ya mencionados factores externos: ataques químicos, condiciones ambientales, ataques biológicos.

La mayor parte de los factores que ocasionan el deterioro del concreto y por consiguiente reducen la durabilidad de éste, tienen que ver con el ingreso de agua en la matriz del concreto, de ahí la importancia de fabricar concretos de baja permeabilidad.

2.2.3. Cemento portlant.

El Cemento Portland es un polvo mineral finamente molido e hidráulicamente activo, el cual resulta del calentamiento de una mezcla de materiales de origen calcáreo y arcilloso en un horno rotatorio a aproximadamente 1400 °C, seguido de la molienda del clinker, con un regulador de fraguado que normalmente es yeso y en algunas ocasiones, de adiciones, que al mezclarse con agua forma pastas que fraguan y endurecen debido a las reacciones de hidrolisis e hidratación de sus constituyentes y da lugar a la formación de productos hidratados estables y mecánicamente resistentes.

2.2.3.1. Materia Prima Del Cemento Portland.

Para fabricar cemento pueden utilizarse tanto minerales de origen natural como productos industriales. Como materiales de partida sirven sustancias minerales, que

contienen los componentes principales del cemento: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , y Fe_2O_3 (cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro). Estos componentes raramente se encuentran en las proporciones deseadas, en una sola sustancia. Por lo tanto, la mayoría de las veces se ha de elegir la mezcla de un componente rico en cal (Componente Calcáreo) con otro pobre en cal pero que contiene más Al_2O_3 y Fe_2O_3 (componente arcilloso). Estos dos componentes son por regla general, la caliza y la arcilla⁵.

2.2.3.2. *Puzolana.*

Las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento. Las puzolanas (y principalmente las naturales) son materiales que reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias, dando como resultado productos capaces de desarrollar resistencias (endurecimiento hidráulico). Las puzolanas más comúnmente empleadas son las tobas volcánicas.

Las puzolanas se pueden clasificar en dos grandes grupos: Puzolanas naturales como materias de origen volcánico, materias sedimentarias de origen animal o vegetal; y, puzolanas artificiales como materias tratadas y subproductos de fabricación industrial.

La producción de cementos con adiciones activas, tanto puzolanas como otros materiales, surge como una solución técnica a problemas específicos planteados por los avances tecnológicos en el área de la construcción.

2.2.3.3. *Propiedades Físicas y Químicas de las Puzolanas.*

Las características de las puzolanas provienen de su granulometría o estado de subdivisión, de formas muy diversas y sus dimensiones varían de acuerdo a su naturaleza y estructura; pero habitualmente son materiales muy finos y de menor densidad que el clinker portland. Las puzolanas son generalmente molidas muy finas y son tanto más eficaces cuanto más rápidamente pueden fijar una fuerte proporción de cal.

La densidad aparente está comprendida entre 0.8 a 1.4 g/cm³ y su densidad real puede variar entre 2.30 a 2.80 g/cm³ lo que significa que tiene una densidad menor que la del cemento Pórtland.

Cuando a las puzolanas se las muele finamente, son más eficaces ya que más rápidamente pueden fijar la cal del cemento portland por la sílice y alúmina que contienen (Efecto puzolánico). Esto puede ser acelerado por incremento de la temperatura. Las puzolanas permiten reducir la expansión de los morteros y hormigones, como también las resistencias con un tratamiento térmico a base de vapor saturado. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

2.2.3.4. Clasificación de Puzolanas

Las puzolanas se clasifican en dos grandes grupos. Puzolanas de origen natural y puzolanas de origen artificial:

2.2.3.4.1. Puzolanas Naturales

Las puzolanas de origen se subdividen en puzolanas naturales de origen volcánico o piroclástico y las puzolanas naturales que no tienen origen volcánico. Las puzolanas naturales son por lo general vidrios piroclásticos, originados como consecuencia de una erupción volcánica explosiva. La violenta explosión del magma en la atmósfera es, responsable del enfriamiento rápido, la introducción del estado amorfo y consecuentemente de la reactividad, favorecido también por el carácter ácido y por la morfología del vidrio y por lo tanto provee una alta área superficial.

2.2.3.4.2. *Puzolanas Artificiales.*

Las puzolanas de origen artificial, viene a ser las cenizas volantes que se producen en la combustión de carbón mineral, arcillas activas o calcinadas artificialmente, escorias de fundición y cenizas de residuos agrícolas.

La ceniza de cascarilla de arroz, cenizas de bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura. (Valdivia Mejia & Valdivia Benero, 2014).

Tabla 3

Propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial.

Propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Otros
	%	%	%	%	%	%
% Mínimo	64	7	5	8	7	9
% Máximo	70	11	9	14	12	12

Fuente: (Valdivia Mejia & Valdivia Benero, 2014).

Capítulo III. Materiales y métodos.

3.1. Diseño de investigación.

3.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo a (Fernández García, Vallejo Seco, Livacic Rojas, & Tuero Herrero, 2014), "La investigación es cuasi-experimental se asemeja a la experimental en el hecho de que se pretende manipular una o varias variables concretas, sería aquella en la que existe una exposición, una respuesta y una hipótesis para contrastar, pero no hay aleatorización de los sujetos a los grupos de tratamiento y control, o bien no existe grupo control propiamente dicho. La investigación tiene como propósito la reducción de la permeabilidad de la losa aligerada con adición de ceniza de carbón al 6% en proporción al cemento".

3.1.2. Metodología de investigación.

La metodología de investigación es cuantitativa, ya que el enfoque cuantitativo usa la relación de datos para experimentar las hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.1.3. Muestra.

Para hallar la muestra de la investigación, se ha tomado la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que la variable es cuantitativa (variable que otorgan un resultado representado por un valor numérico).

$$n_0 = \frac{Z^2 * S^2}{E^2}$$

Donde:

Z = Es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador.

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés.

E= % del estimador o en absoluto (unidades). Fijada por el investigador.

n_0 = Tamaño de la muestra.

Tabla 4

Coeficiente de confiabilidad (Z).

Nivel de confianza	Coeficiente de confiabilidad (Z)
0.99	2.58
0.98	2.33
0.97	2.17
0.96	2.05
0.95	1.96
0.9	1.65
0.8	1.28
0.5	0.67

3.1.3.1. Muestra para ensayo de permeabilidad.

Se tomaron las siguientes consideraciones para el Ensayo de Permeabilidad:

Z= El nivel de confianza para esta investigación será de 95% (1.96).

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio será de 0.063

E= El límite aceptable de error de muestra se estimará en 4% (0.04).

Reemplazando los valores en la formula se obtiene:

$$n_0 = \frac{(1.96^2)(0.063^2)}{0.04^2}$$

$$n_0 \approx 10$$

El valor de “S”, según Contreras y Peña (2017) “análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando ceniza de carbón en la mezcla.”, es de 0.063.

Por el cálculo anteriormente visto se realizó 16 losas aligeradas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², teniendo 4 muestras con cenizas de carbón al 6% de adición al cemento para el objetivo principal de la investigación, a la vez se realizó 8 muestras con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón, las muestras restantes fueron construidas de manera normal, para poder hallar las diferencias entre ellas y obtener resultados para el objetivo específico 03. Se ha construido las losas aligeradas de 0.60 m por 0.50 m, asimilando el proceso constructivo de una losa aligerada de concreto real.

Tabla 5

Número de muestras a realizarse, ensayo de permeabilidad.

Tipo de espécimen	N° de ejemplares
Losa aligerada de concreto patrón	4
Losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón	4
Losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón	4
Losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón	4
Total	16

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3.2. Muestra para ensayo de resistencia a la compresión.

Se tomaron las siguientes consideraciones para el Ensayo de resistencia a la compresión.

Z= El nivel de confianza para esta investigación será de 95% (1.96).

S= Desviación estándar de la variable fundamental del estudio será de 0.095

E= El límite aceptable de error de muestra se estimará en 3% (0.03).

Reemplazando los valores en la formula se obtiene.

$$n_0 = \frac{(1.96^2)(0.095^2)}{0.03^2} \approx 40$$

Por lo tanto, el número de ensayos a realizar para el ensayo de resistencia a la compresión son de 40 pruebas.

Para el análisis de la resistencia a la compresión con adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'_c=210$ kg/cm², se van a realizar ensayos de resistencia a la compresión, para lo cual se fabricó 12 probetas de concreto para cada uno de los especímenes, de manera que los ensayos se realizaron de 4 ejemplares a las edades de 7, 14 y 28 días, el número de probetas se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6

Número de muestras a realizarse, ensayo de resistencia a la compresión.

Tipo de espécimen	Edad (7 días)	Edad (14 días)	Edad (28 días)
Losa aligerada de concreto patrón	4	4	4
Losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón	4	4	4
Losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón	4	4	4
Losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón	4	4	4
Total			48

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3.3. Muestra para ensayo de físico químico de la ceniza de carbón.

Para el ensayo físico químico de la ceniza de carbón, se proporcionó una muestra de 500 gr del material ceniza de carbón a la empresa LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR E.I.R.L., dicha empresa realizo los ensayos correspondiente a la ceniza de carbón.

3.2. Variables.

La variable a estudiar será el 6% de ceniza de carbón adicionada a la losa aligerada de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la reducción en la permeabilidad y su incidencia en la resistencia a la compresión del concreto endurecido.

3.2.1. Identificación de variables para cada una de la hipótesis.

Tabla 7

Identificación de variables para la hipótesis general.

	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
	Independiente				
General	¿Cuál es la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de ceniza de carbón porcentual de 6% en adición al cemento?	La permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ será reducida con la adición de ceniza de carbón de 6% en adición al cemento.	Adición de ceniza de carbón	Adición de ceniza de carbón	Porcentaje de adición de ceniza de carbón (6%)
			Dependiente	Propiedades del concreto en estado endurecido (Permeabilidad)	Permeabilidad de losa aligerada

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8

Identificación de variables para la hipótesis específica 01.

	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
Específico 01	¿Cómo afecta la adición de 6% de ceniza de carbón en el cemento, en la resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?	la adición de 6% de ceniza de carbón en el cemento, aumentara la resistencia a la compresión en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.	Independiente		
			Adición de ceniza de carbón	Adición de ceniza de carbón	Porcentaje de adición de ceniza de carbón (6%)
			Dependiente		
			Resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto.	Propiedades mecánicas del concreto	Resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9

Identificación de variables para la hipótesis específica 02.

	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
		Independiente			
Específico 02	¿Qué propiedades físico químicas posee de la ceniza de carbón, que hacen posible la reducción de la permeabilidad en la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?	La ceniza de carbón posee propiedades físico químicas que hacen posible la reducción de la permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	Propiedades físico químicas de la ceniza de carbón	Ensayos de laboratorio	Propiedades físico químicas de la ceniza de carbón

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10

Identificación de variables para la hipótesis específica 03.

	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
Específico 03	¿Por qué la adición de ceniza de carbón en el cemento iguales o mayores al 8% son contraproducentes en la permeabilidad y la resistencia a la compresión de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?	La adición igual o mayor de 8% de ceniza de carbón, hace que la propiedad de permeabilidad aumente y la resistencia a la compresión disminuya en la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.	Independiente		
			Adición de ceniza de carbón.	Adición de ceniza de carbón.	Porcentaje de adición de ceniza de carbón (8% y 10%)
			Dependiente		
			Permeabilidad y resistencia a la compresión.	Propiedades del concreto en estado endurecido	Permeabilidad y resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2. Operacionalización de variables.

Tabla 11

Operacionalización de la variable de permeabilidad de la losa aligerada.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Permeabilidad en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna	Características de losas elaboradas	Dimensiones (cm) Espesor (cm)
			Edad de curado (días)
		Ensayo de permeabilidad	Proceso de ensayo de permeabilidad torrent.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12

Operacionalización de la variable de permeabilidad de la losa aligerada.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'_c=210$ kg/cm ²	La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse	Ensayo de los agregados	Contenido de humedad (%) Granulometría - MF Gravedad específica (gr/cc) Peso unitario (kg/cm)
		Diseño de mezcla	Resistencia de diseño (kg/cm ²) Relación a/c Dosificación del concreto (kg) Dosificación de la ceniza de carbón (kg)
		Capacidad de carga soportada	Carga máxima (kg/cm ²) Área (cm ²)
			Curva Carga/ edad (kg/cm ²)/(días)

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Instrumentos o técnicas de recolección de datos.**3.3.1. Metodología para la reducción de la permeabilidad de la losa aligerada de concreto con adicción de ceniza de carbón al 6%.**

- Existen investigaciones sobre el uso de cenizas puzolanas para mejorar sus propiedades del concreto. Teniendo en cuenta estas informaciones. Se procede a la obtención de ceniza de carbón.
- Se identificó las propiedades físico-químicas de la ceniza de carbón, mediante un análisis de laboratorio, realizado en la ciudad de Arequipa por laboratorios del sur (Anexo B-3: Composición química de la ceniza de carbón).
- Se procedió a determinar las propiedades de los materiales (agregados, cemento, agua y ceniza de carbón), tomando en cuenta normas nacionales e internacionales.
- Tomando en cuenta los siguientes ensayos: granulometría de agregados, peso unitario, peso específico y absorción de agregados. Se realizó el diseño de

mezcla por el método ACI para concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón en porcentaje al cemento.

- Se elaboró 16 losas aligeradas de concreto armado $f'_c 210\text{kg/cm}^2$, cuyas dimensiones son de 60cm x 50cm para ensayos de permeabilidad Torrent. Posteriormente se elaboró probetas de concreto para ensayos de Resistencia a la Compresión.
- De acuerdo al tiempo de curado, permeabilidad (28 días) y Resistencia a la Compresión (7, 14 y 28 días), Se sometió a ensayos de laboratorio correspondientes.
- Se realizó ensayos de laboratorio del concreto en estado endurecido, es decir: para la prueba de permeabilidad a las 16 losas serán ensayadas mediante el ensayo presión al aire (método no destructivo – permeabilidad TORRENT). Posteriormente las probetas de concreto fueron sometidas a pruebas de Resistencia a la Compresión.
- Se procedió a analizar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio permeabilidad, porosidad y Resistencia a la compresión. Donde se determinó las causas y efectos de la adición de ceniza de carbón en la losa aligerada de concreto $f'_c 210\text{kg/cm}^2$.

3.4. Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación

Para las cantidades requeridas en el diseño de Mezcla del concreto de la losa aligerada de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, se utilizó los resultados obtenidos en laboratorio de los Ensayos de los Agregados, (Anexo A: Ensayos de Agregados).

3.4.1. Agregados.

3.4.1.1. *Cantera.*

Según él (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013), menciona que, se debe tener en consideración: Ubicación, Potencia, Condiciones de Explotación, características principales de los materiales que puedan obtenerse, rendimientos, propiedad y disponibilidad de uso de cantera.

El agregado grueso usado para la elaboración del concreto en la investigación fue obtenido de la cantera Unocolla ubicada en la carretera Juliaca – Lampa. El material a utilizar se extrajo de las orillas del Rio y luego fue transportado al campus de la Universidad Peruana Unión filial Juliaca, a la vez se le realizo los siguientes ensayos para realizar el diseño de mezcla con la adición de ceniza de carbón del 6% en la losa aligerada de concreto.

- Análisis granulométrico (NTP-400.012).
- Módulo de fineza (NTP 400.011).
- Contenido de humedad en agregados (NTP 400.016)
- Peso específico y absorción (NTP 400.022)
- Peso unitario Compactado (NTP 400.0.17).

3.4.1.2. Resultados obtenidos de agregados finos y gruesos.

Tabla 13

Resultados obtenidos de agregado fino y grueso.

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de finura	3.12	
Contenido de Humedad (%)	5.09	4.46
Peso específico (kg/m ³)	2378.60	2368.85
Absorción (%)	2.04	2.13
Peso Uni. Suelto (kg/m ³)	1624.23	1486.64
Peso Uni. Compactado (kg/m ³)	1476.81	1304.62
TMN		1 1/2"

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, (Anexo A: Ensayos de Agregados).

3.4.2. Cenizas de Carbón

La ceniza de carbón se ha obtenido de manera gratuita, en la empresa “La gran choza” que se encuentra en las inmediaciones de la AV. Circunvalación con la AV. Triunfo, como podemos observar en la Figura 9.



Figura 9 Obtención de ceniza de carbón.

Fuente: Empresa “la gran choza”, Anexo D-Panel fotográfico.

3.4.2.1. Procedimiento para obtener la ceniza de carbón.

Las cenizas que fueron utilizadas para la investigación han sido obtenidas de la siguiente manera:

- El carbón fue incinerado en el horno artesanal.
- La ceniza de carbón fue retirada del horno artesanal.
- Fue realizado el tamizado la ceniza para descartar partículas medianas.
- Se sometió a los ensayos físicos químicos la ceniza de carbón.

3.4.2.2. *Ensayos físico químicos para la ceniza de carbón.*

3.4.2.2.1. *Ensayos químicos.*

La presente investigación tiene como objetivo recabar información de la ceniza de carbón, es así que, para obtener los resultados de las propiedades químicas de la ceniza de carbón, fueron contratados los servicios de la entidad “Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.”; Dicha empresa remitió porcentajes de obtención para cada uno de los siguientes químicos.

- SiO_2 : Dióxido de silicio.
- $CaCO_3$: Carbonato de calcio.
- MgO : Óxido de magnesio.
- Al_2O_3 : Óxido de aluminio.
- Fe_2O_3 : Óxido de Hierro
- Mn_2O_3 : Trióxido de dimanganeso
- Na_2O : Óxido de sodio.
- K_2O : Óxido de potasio

3.4.2.2.2. *Ensayos físicos.*

Para los ensayos físicos, se utilizó los laboratorios de Ingeniería Civil de la UPeU- Filial Juliaca, los ensayos que se realizaron para obtener los valores físicos son los siguientes.

- Módulo de finura de la ceniza de carbón.
- Peso unitario de la ceniza de carbón
- Peso específico con respecto al cemento.

3.4.3. Diseño de Mezcla de Concreto, para la losa aligerada de concreto.

Este proceso se aplicará para determinar las cantidades de materiales por metro cubico de concreto para las losas aligeradas de concreto, ya que la ceniza de carbón se considera puzolana artificial, posee la necesidad de adición de agua en el diseño de mezcla, se determina de la siguiente manera; empleando el método del comité 211 del ACI, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
- Selección del tamaño máximo nominal del agregado.
- Selección del asentamiento.
- Selección del volumen unitario de agua de diseño.
- Selección del contenido de aire.
- Selección de la relación agua cemento por resistencia y durabilidad.
- Determinación del factor cemento.
- Determinación del contenido del agregado grueso.
- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos.
- Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
- Determinación del peso seco del agregado fino.
- Determinación de los valores de diseño del cemento.
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Determinación de la proporción en peso.

3.4.3.1.1. *Proporciones en peso de los materiales corregidos.*

Tabla 14

Proporciones para diseño de mezcla de losa aligerada.

Proporciones para diseño de mezcla de losa aligerada.		
	Cant. M3	Proporción
Cemento	393 kg	1
Agregado Fino	746 kg	1.89
Agregado Grueso	938 kg	2.38
Agua	208 lt	0.53

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo A-1.

3.4.3.1. Adición de agua en la relación agua cemento para el uso de ceniza de carbón en el material cementante.

El Instituto Americano del Concreto, adopta el uso de cenizas volantes en sus recomendaciones para dosificar mezclas de concreto. Como regla general el ACI recomienda tratar las cenizas solo como un sustituto parcial del cemento, por lo que anota que en el proceso de dosificación ella debe tenerse en cuenta en la estimación de la relación agua-cemento (que ahora será agua - material cementante y se notará como $a/c+cv$), en la determinación del contenido de cemento (c), y por supuesto, en la determinación del contenido de cenizas (cv).

En la actual investigación, se adiciono la ceniza de carbón en el concreto para las losas aligeradas, es por eso que se adopta la norma de ACI, adecuaremos la norma que adiciona ceniza de volante de carbón, a la presente investigación la cual adiciona ceniza de carbón.

(Giraldo Bolivar, 2006) “La relación $a/(c+cv)$ se obtiene partiendo de la relación a/c obtenida según el acápite anterior, para esto el ACI recomienda el uso de equivalencias en volumen o equivalencias en peso”.

$$\frac{w}{c} = \frac{w}{c + cv}; \text{equivalencia en peso}$$

Donde:

W: Peso del agua en relación al concreto

C: Peso del cemento en relación al concreto

Cv: Porcentaje de ceniza de carbón.

Utilizando la formula ya mencionada, se realizó el cálculo para la adición de agua en el diseño de mezcla.

3.4.3.1.1. *Adición de agua en concreto para 6% de ceniza de carbón.*

$$\frac{0.53}{1} = \frac{w}{1 + 6\%}$$

$$w + 6\% = 0.5618$$

3.4.4. Adición calculada para losa aligerada de concreto (Patrón, 6% de ceniza de carbón).

En la presente investigación, se realizó el diseño de mezcla por el método ACI, de dicho procedimiento se obtuvo valores en proporciones de cemento, para los tipos de losas aligeradas de concreto (patrón, 6% de ceniza de carbón).

Tabla 15.

Proporciones calculadas para losa aligerada con adición de ceniza de carbón.

Losa Aligerada de Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$		
Materiales	Patrón	6%
Cemento	1	1
Agregado fino	1.89	1.89
Agregado grueso	2.38	2.38
Agua	0.528	0.562
Ceniza de Carbón	--	0.06

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo A-1.

3.4.5. Diseño de losa aligerada de concreto armado en una sola dirección.

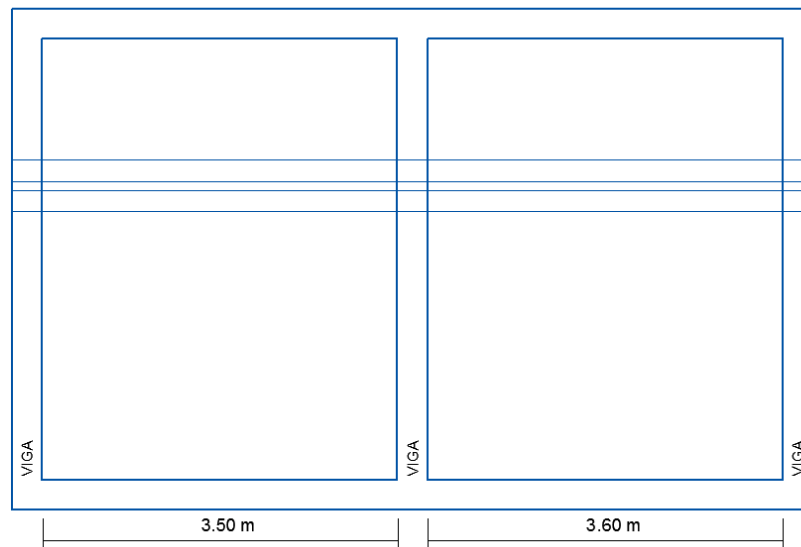


Figura 10 Diseño de losa aligerada de concreto.

Fuente: Elaboración propia

Datos:

Concreto $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$

Acero $f'y = 4200 \text{ kg / cm}^2$

Apoyado en vigas ambos extremos.

Cálculo de losa:

Tabla 16

Espesor de losa aligerada de acuerdo a la luz.

Ln	Espesor de Losa	Ladrillo
4m	17 cm	12 cm
5m	20 cm	15 cm
6m	25 cm	20 cm
7m	30 cm	25 cm

Fuente: (Reglamento nacional de edificaciones., 2006).

$$H = \text{Luz}/25$$

$$H = 3.60 \text{ m} / 25 = 14.4 \text{ cm} \approx 17 \text{ cm}$$

Metrado de cargas:

Tabla 17

Pesos propios, según el espesor de losa.

Espesor del Aligerado	Espesor de Losa Superior	Peso propio kpa (kgf/m²)
0.17 m	0.05 m	2.8 (280)
0.20 m	0.05 m	3.0 (300)
0.25 m	0.05 m	3.5 (350)
0.30 m	0.05 m	4.2 (420)

Fuente: (Reglamento nacional de edificaciones., 2006)

Carga Muerta (D):

Peso Propio : $280\text{kg/m}^2 \times 0.40\text{m} = 112\text{kg/m}$

Piso Terminado : $100\text{kg/m}^2 \times 0.40\text{m} = 40\text{ kg/m}$

Tabiqueria : $100\text{kg/m}^2 \times 0.40\text{m} = 40\text{ kg/m}$

Cielo Raso : $50\text{kg/m}^2 \times 0.40\text{m} = 20\text{ kg/m}$

\therefore Carga muerta (D) = 212 kg/m

Carga Viva (L):

Sobre carga S/C : $200\text{kg/m}^2 \times 0.40\text{m} = 80\text{kg/m} \therefore L = 80\text{kg/m}$

Carga Ultima (Wu)

$$W_u = 1.4D + 1.7L$$

$$W_u = 1.4 (212) + 1.7 (80)$$

$$W_u = 432.8\text{ kg/m}$$

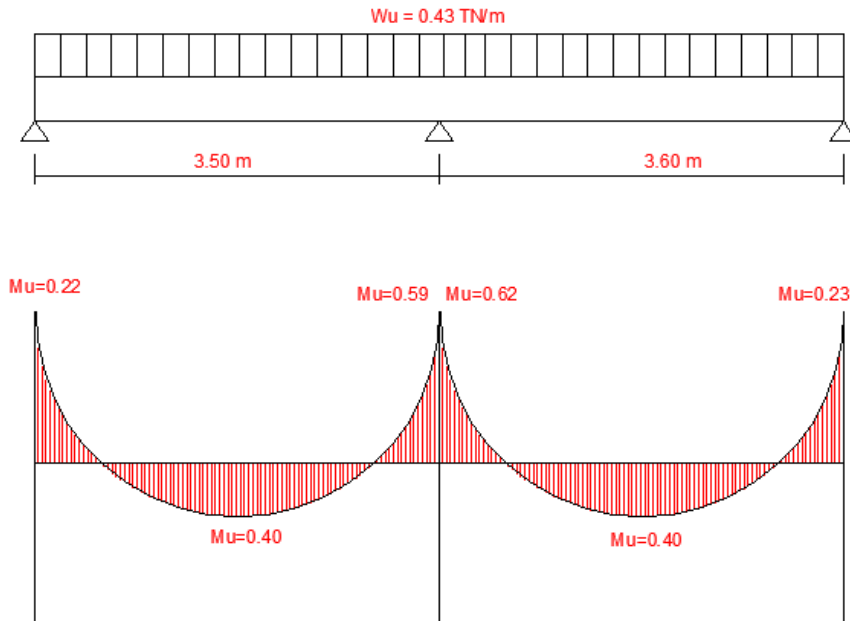
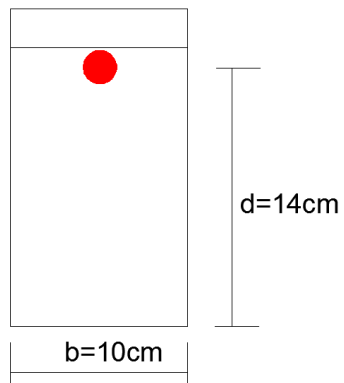


Figura 11. Distribución de cargas por momento último.

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de acero:



Pulg	Área (cm ²)
¼	0.32
3/8	0.71
½	1.29
5/8	1.99
¾	2.84
1"	5.1
1 3/8	10.06

Acero Negativo Central:

Asumir "a" = 2.8cm (20% de "d")

$$\text{Calcular } A_s = \frac{M_u}{\phi F_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s = \frac{0.62 \times 10^5 \text{ kg-cm}}{0.9 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 \left(14\text{cm} - \frac{2.8\text{cm}}{2}\right)} = 1.30\text{cm}^2$$

Verificando "a"

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$A_s = 1.32 \text{ cm}^2 \therefore 1 \phi 1/2" = 1.27 \text{ cm}^2$$

Acero Negativo Extremos:

Asumir "a" = 2.8cm (20% de "d")

$$\text{Calcular } A_s = \frac{M_u}{\phi F_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s = \frac{0.23 \times 10^5 \text{ kg-cm}}{0.9 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 \left(14\text{cm} - \frac{2.8\text{cm}}{2}\right)} = 0.48 \text{ cm}^2$$

Verificando "a"

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$A_s = 0.45 \text{ cm}^2 \therefore 1 \phi 3/8" = 0.71 \text{ cm}^2$$

Acero positivo:

Asumir "a" = 2.8cm (20% de "d")

$$\text{Calcular } A_s = \frac{M_u}{\phi F_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s = \frac{0.40 \times 10^5 \text{ kg-cm}}{0.9 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 \left(14\text{cm} - \frac{2.8\text{cm}}{2}\right)} = 0.83 \text{ cm}^2$$

Verificando "a"

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$A_s = 0.81 \text{ cm}^2 \therefore 1 \phi 3/8" = 0.71 \text{ cm}^2$$

Verificando Acero Mínimo:

$$A_{smin} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{smin} = \frac{0.7 \sqrt{210}}{4200 \text{ kg/cm}^2} (10 \text{ cm})(14 \text{ cm}) \therefore A_{smin} = 0.34 \text{ cm}^2 \text{ ok}$$

Verificando Acero Máximo

$$A_{smax} = C \times b \times d$$

$$C = 0.75 \times P_b$$

$$P_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$

$$\beta = 0.85$$

$$A_{smax} = 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.85 \times 210}{4200} \left(\frac{6000}{6000 + 4200} \right) \times 10 \times 14$$

$$A_{smax} = 2.23 \text{ cm}^2$$

Cálculo de acero de temperatura:

$$A_s = 0.0018 b.t$$

$$A_s = 0.0018 (100\text{cm}) (5\text{cm})$$

$$A_s = 0.90 \text{ cm}^2 (1 \phi 1/4")$$

$$\therefore \phi 1/4" @ 33\text{cm}$$

La máxima separación de varillas es 5t o sea 5 veces el espesor de la losa

$$\therefore 5 \times 5 = 25\text{cm}$$

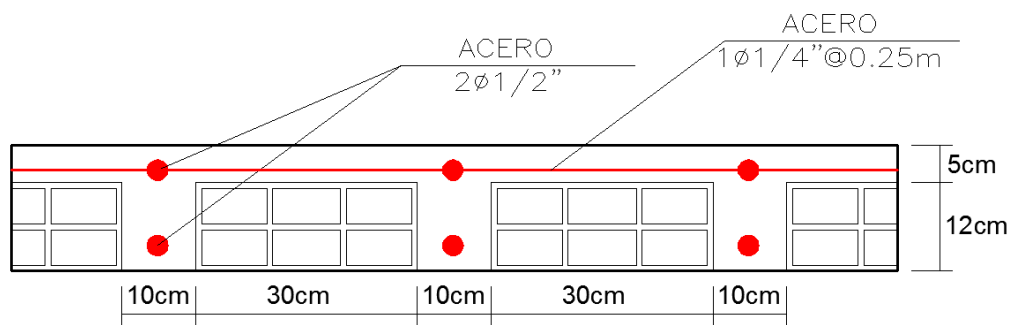


Figura 12 Detalle de losa aligerada calculada.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5. Procedimientos para la obtención de datos

3.5.1. Ensayo de permeabilidad para losas aligeradas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ (permeámetro Torrent).

Para el ensayo de permeabilidad se inició observando la evolución de la presión P_i que se mide a partir de los 60 s con un sensor de presión comandado por un microprocesador que tiene integrada un cronómetro.



Figura 13 Ensayo para determinar la permeabilidad en la los aligerada.

Fuente: Laboratorios Supermix panel fotográfico, Anexo D.

El microprocesador almacena la información y efectúa los cálculos para mostrar automáticamente, al fin del ensayo, el valor del coeficiente de permeabilidad al aire kT (m^2). El fin del ensayo acontece cuando la elevación de la presión en la cámara interna P_i alcanza 20 mbar o, en el caso de hormigones muy impermeables cuando han transcurrido 360 s desde el comienzo del ensayo. Así, dependiendo de la permeabilidad del hormigón, el ensayo puede durar de 2 a 12 minutos.

El microprocesador es capaz de almacenar los datos de los ensayos y la información puede ser transferida a una PC para su posterior análisis y registro. La función de la válvula 1 es restablecer el sistema para un nuevo ensayo ventilándolo con aire a la presión atmosférica. Dado que en este método la geometría del problema está bien definida, mediante un modelo teórico es posible calcular el coeficiente de permeabilidad, tal como se describe en (Torrent, 1998)

El conocimiento de kT permite estimar la profundidad de hormigón afectada por el ensayo, que también es indicada por el equipo. La permeabilidad al aire kT es muy sensible a la microestructura del hormigón de recubrimiento, abarcando unos 6 órdenes de magnitud

(0.001 a 100 10^{-16} m^2). La Tabla 18 muestra la clasificación de la permeabilidad del hormigón (con edades entre 28 y 180 días) en función de kT.

3.5.1.1. Norma Suiza Swiss Standard SIA 162/1-E Permeability of the Concrete Cover according to the “Torrent” Method.

La norma anteriormente mencionada, valida la utilización del ensayo de permeabilidad Torrent, método que es validado por el Dr. Roberto Torrent en suiza en 1991, El permeámetro torrent es una versión de última generación del mundialmente probado Método de “Torrent”, que ha sido aplicado satisfactoriamente por más de 15 años en la industria del concreto.

Este último método de ensayo ha sido utilizado para evaluar concretos incluso de varios años de antigüedad, el procedimiento del ensayo está implementado en la industria del concreto para la evaluación de la durabilidad de los concretos, tanto en ensayos de laboratorio como de campo según corresponda.

3.5.1.2. Clasificación de la permeabilidad del concreto en función de kT.

Al finalizar el ensayo de permeabilidad, el microprocesador da resultados que varían desde 0.01 a >10, para cada uno de los valores se encuentran rangos, dentro de cada rango se le da una etiqueta a cada tipo de concreto como podemos observar en la tabla 18.

Tabla 18

Clasificación de la permeabilidad del concreto en función de kT.

Clase	kT (10^{-16} m^2)	Permeabilidad
PK1	<0.01	Muy baja
PK2	0.0-0.1	Baja
PK3	0.1-1.0	Moderada
PK4	1.0-10.0	Alta
PK5	>10	Muy alta

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

De la Tabla 18 podemos observar que se dan parámetros de permeabilidad (muy baja, baja, moderada, alta, muy alta), por medio de las etiquetas que se les da a los valores, podemos observar que la etiqueta “muy baja”, es para concreto con permeabilidad menor a

0.01, concreto que posee una muy baja permeabilidad y la filtración de agua es casi nula en el concreto; A la vez etiquetas como “muy alta”, significan que la permeabilidad de ese concreto es alta y que la filtración de agua en el concreto es abundante.

3.5.1.3. *Elaboración de losas aligeradas de concreto para ensayo de permeabilidad Torrent.*

Se realizó losas aligeradas de 0.60m x 0.50m, asimilando el proceso constructivo de una losa real.

3.5.1.3.1. *El equipo necesario.*

- Mezcladora de concreto tipo trompo
- Una carretilla buggy para el transporte de concreto fresco.
- Encofrados hechos de madera con medias de 0.60m x 0.50m
- Varilla apisonadora con punta de bala de 5/8” de diámetro y 60cm de longitud.
- Combo de goma de 0.5 kg.
- Cucharon para el muestreo y plancha de albañilería
- Tortola
- Alicata
- Martillo de acero

3.5.1.3.2. *Materiales utilizados.*

- Agregado grueso
- Agregado fino
- Agua
- Cemento
- Ceniza de carbón
- Acero de refuerzo de ½”
- Acero de temperatura de N°4
- Ladrillo mecanizado de medidas 30cm x 30cm x 12cm
- Alambre recocido de 16 mm

- Petróleo.

3.5.1.3.3. *Moldeado de losas aligeradas.*

- Se colocó los encofrados en una superficie nivelada.
- Se pasó con petróleo la pared y la base interior del encofrado.
- Se colocó el ladrillo de 30cm x 30cm en la base del encofrado.
- Se colocó el acero de refuerzo positivo y negativo.
- Se unió con alambre recocido el refuerzo de acero negativo y el acero de temperatura.
- Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- Se compactó la capa apisonando 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Finalmente, se le marco en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.

3.5.1.4. ***Calculo empírico para hallar el valor de porosidad de losas aligeradas de concreto.***

Durante el proceso de fraguado del concreto, debido a los procesos de exudación, asentamiento e hidratación del cemento; es que tiene cabida la formación de la porosidad del concreto (formación de poros y redes de poros en el concreto), siendo esta etapa una de las más importantes en la adquisición de sus propiedades finales. La porosidad del concreto está relacionada de manera directa con la resistencia y la permeabilidad, ya que ésta será la responsable del ingreso de agentes externos en el concreto.

De esta manera, se hallará la porosidad con la siguiente formula empírica, poseyendo como parámetro principal la presión atmosférica y el aumento de presión de la cámara interna del permeámetro Torrent, a la vez el tiempo de inicio de prueba será 60 segundos, terminando la prueba en 360 segundo en cada una de las pruebas.

$$\% \epsilon = \left(\frac{V_c}{A}\right)^2 * \frac{\mu}{2 * kt * P_a} * \left(\frac{\ln\left(\frac{P_a}{\Delta P}\right)}{\sqrt{t_f} - \sqrt{t_i}}\right)^2$$

Donde:

- ϵ = Porosidad del concreto.
- V_c = Volumen del sistema de la cámara interna (m²).
- A = Área de la celda interna (m²).
- μ = Viscosidad de aire (2.0e-5 N.s/m²).
- K_t = Permeabilidad del concreto kT ($10^{-16} m^2$).
- P_a = Presión atmosférica (N/m²).
- ΔP = Aumento de presión en celda interna (N/m²).
- t_f = Tiempo al termino del ensayó (2 a 6 min).
- t_i = Tiempo al comienzo del ensayó (60 seg.).

3.5.2. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto NTP 339.034.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

3.5.2.1. Velocidad de Carga

La carga deberá ser aplicada en forma continua, evitando choques. Para máquinas de Tornillo, el desplazamiento del cabezal móvil será de aproximadamente 1,3 mm/min, cuando lo hace libremente. Para máquinas operadas hidráulicamente la velocidad de la carga estará en el rango de 0,14 a 0,34 MPa/s. Se aplicará la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta. NTP 039.034

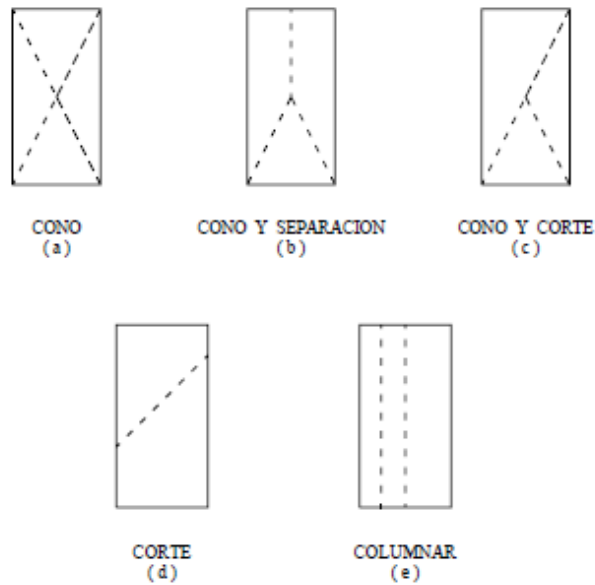


Figura 14 Tipologías de falla en el concreto.

Fuente: (Norma tecnica peruana , 2008).

3.5.2.2. *Expresión de resultados.*

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_c = 4G/\pi d^2$$

Donde:

R_c = Resistencia a la compresión en kilogramos por centímetro cuadrado

G = Carga máxima de rotura en kilogramos

d = Es el diámetro de la probeta cilíndrica en centímetros.

3.5.2.3. *Elaboración de testigos para ensayo de resistencia a la compresión.*

Para la presente investigación se utilizó briquetas cilíndricas de 20 cm de altura y un diámetro de 10 cm.

3.5.2.3.1. *Equipo necesario*

Mezcladora de concreto tipo trompo

- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- Moldes para formar los especímenes fueron de metal, los primeros obtenidos, las dimensiones requeridas para la elaboración de testigos.
- Varilla apisonadora con punta de bala de 5/8" de diámetro y 60cm de longitud.
- Combo de goma de 0.5 kg.
- Cucharon para el muestreo y plancha de albañilería.

3.5.2.3.2. *Materiales utilizados.*

- Agregado fino
- Agregado grueso
- Agua
- Cemento
- Ceniza de carbón (testigos adicionados con el material).
- Petróleo

3.5.2.3.3. *Moldeado de testigos de concreto.*

- Se colocó los moldes de cilindros en una superficie nivelada.
- Se pasó con petróleo la pared y la base interior de los moldes cilíndricos.
- Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- Se compactó la capa apisonando 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Finalmente, se le marco en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.

Capítulo IV. Resultados y discusión.

4.1. Presentación de resultados.

4.1.1. Permeabilidad de las losas aligeradas de concreto.

Para el entender y comprender los resultados que se presentaran a continuación, se tiene que observar la Tabla 19, en dicha tabla podemos ver las unidades de medida de la permeabilidad (kT ($10^{-16}m^2$), índice de permeabilidad), y el rango que toman cada uno de ellas.

Tabla 19

Clasificación de la permeabilidad del concreto en función de kT .

Clase	kT ($10^{-16}m^2$)	Permeabilidad
PK1	<0.01	Muy baja
PK2	0.0-0.1	Baja
PK3	0.1-1.0	Moderada
PK4	1.0-10.0	Alta
PK5	>10	Muy alta

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

En las tablas 19, podemos observar los valores calculados por el permeabilímetro Torrent, en la empresa de concreto Supermix, para cada una de las losas aligeradas de concreto ensayadas, es así que cada ensayo posee un rango de permeabilidad consignado por el resultado del ensayo realizado, gracias a los parámetros dados por la empresa Supermix.

Tabla 20

Permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210$ kg/cm².

Tipo	Punto	Edad (días)	Permeabilidad kT ($10^{-16}m^2$)	Rango
Losa aligerada patrón	1	28	0.30	moderado
	2	28	0.45	moderado
	3	28	0.38	moderado
	4	28	0.08	bajo
Promedio			0.30	moderado

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

Tabla 21

Permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210$ kg/cm², con 6% de adición de ceniza de carbón.

Tipo	Punto	Edad (días)	Permeabilidad kT ($10^{-16}m^2$)	Rango
Losa aligerada con 6% de adición de ceniza de carbón	1	28	0.02	bajo
	2	28	0.017	bajo
	3	28	0.008	muy bajo
	4	28	0.019	bajo
Promedio			0.02	bajo

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

Tabla 22

Permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210$ kg/cm², con 8% de adición de ceniza de carbón.

Tipo	Punto	Edad (días)	Permeabilidad kT ($10^{-16}m^2$)	Rango
Losa aligerada con 8% de adición de ceniza de carbón	1	28	0.24	moderado
	2	28	0.09	bajo
	3	28	0.30	moderado
	4	28	0.45	moderado
Promedio			0.27	moderado

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

Tabla 23

Permeabilidad de las losas aligeradas patrón de concreto $f'c=210$ kg/cm², con 10% de adición de ceniza de carbón.

Tipo	Punto	Edad (días)	Permeabilidad kT ($10^{-16}m^2$)	Rango
Losa aligerada con 10% de adición de ceniza de carbón	1	28	8.34	alta
	2	28	196.56	muy alto
	3	28	9.52	alta
	4	28	183.93	muy alto
Promedio			99.59	muy alta

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

4.1.1.1. Porosidad de las losas aligeradas.

En las tablas 24, 25, 26 y 27 se presentarán los resultados obtenidos de la porosidad de las losas aligeradas de concreto, para cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 24

Porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Losa aligerada de concreto patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$.								
Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	Ap (N/m2)	ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29835275.2330	0.1561
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29796712.3567	0.1587
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29813845.7189	0.1575
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29924902.9058	0.1213

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-5.

Tabla 25

Porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 6% de adición de ceniza de carbón.

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 6% de adición de ceniza de carbón.								
Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	Ap (N/m2)	ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29963416.0279	0.1150
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29966298.9655	0.1148
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29976988.2056	0.1137
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29964357.3017	0.1149

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-5.

Tabla 26

Porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 8% de adición de ceniza de carbón.

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 8% de adición de ceniza de carbón.								
Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	Ap (N/m2)	ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29852905.7116	0.1555
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29931382.1288	0.1509
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29835275.2330	0.1561
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29796712.3567	0.1587

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-5

Tabla 27

Porosidad de losa aligerada patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de carbón.

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de carbón.								
Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	Ap (N/m2)	ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29027598.7402	0.2011
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	24762585.3856	0.2893
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	28960473.3266	0.2018
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	24923845.1605	0.2886

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-5.

4.1.2. Resistencia a la compresión de las losas aligeradas.

En las Tablas 28, 29, 30 y 31. podemos observar la resistencia a la compresión promedio alcanzada a la edad de 28 días por las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de ceniza de carbón.

Tabla 28

Resistencia a la compresión del concreto (Losa aligerada patrón).

Resistencia a la compresión (Losa aligerada Patrón)								
Edad (días)	Prueba	Diámetro	Fuerza de Falla	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia
7	1	10.00	11042.10	140.59	66.95	67.00	68.16	143.13
	3	9.90	10902.30	141.63	67.44			
	4	10.00	11179.50	142.34	67.78			
	5	9.90	11390.10	147.97	70.46			
14	1	9.90	13820.30	179.54	85.49	86.00	85.56	179.68
	2	10.00	14345.20	182.65	86.98			
	3	9.90	14123.50	183.48	87.37			
	4	10.10	13863.50	173.04	82.40			
28	1	9.90	18206.40	236.52	112.63	100.00	114.05	239.51
	2	9.90	18498.50	240.31	114.43			
	3	10.00	18491.50	235.44	112.11			
	4	10.10	19689.40	245.75	117.03			

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo C.

Tabla 29

Resistencia a la compresión del concreto (Losa aligerada con adición de 6% Ceniza de carbón).

Resistencia a la compresión (Losa aligerada con adición de 6% Ceniza de carbón)								
Edad (días)	Prueba	Diámetro	Fuerza de Falla	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia
7	1	9.90	9744.20	126.59	60.28	67.00	60.52	127.10
	3	10.10	10478.20	130.78	62.28			
	4	9.90	9300.40	120.82	57.53			
	5	10.00	10225.40	130.19	62.00			
14	1	9.90	13774.60	178.94	85.21	86.00	83.98	176.36
	2	9.90	13756.30	178.71	85.10			
	3	9.90	13417.50	174.31	83.00			
	4	9.90	13353.50	173.47	82.61			
28	1	10.10	17909.30	223.54	106.45	100.00	101.13	212.38
	2	10.00	16840.70	214.42	102.11			
	3	9.90	15496.50	201.31	95.86			
	4	10.00	16511.80	210.23	100.11			

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo C.

Tabla 30

Resistencia a la compresión del concreto (Losa aligerada con adición de 8% Ceniza de carbón).

Resistencia a la compresión (Losa aligerada con adición de 8% Ceniza de carbón)								
Edad (días)	Prueba	Diámetro	Fuerza de Falla	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia
7	1	10.10	9134.09	114.01	54.29	67.00	54.04	113.48
	3	10.10	9149.80	114.20	54.38			
	4	10.00	9165.20	116.69	55.57			
	5	9.90	8392.80	109.03	51.92			
14	1	10.10	11799.00	147.27	70.13	86.00	69.79	146.56
	2	10.00	11506.90	146.51	69.77			
	3	10.00	11560.20	147.19	70.09			
	4	10.00	11408.50	145.26	69.17			
28	1	10.00	15302.80	194.84	92.78	100.00	92.27	193.76
	2	9.90	14754.40	191.67	91.27			
	3	10.10	15492.20	193.37	92.08			
	4	10.00	15329.30	195.18	92.94			

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo C.

Tabla 31

Resistencia a la compresión del concreto (Losa aligerada con adición de 10% Ceniza de carbón).

Resistencia a la compresión (Losa aligerada con adición de 10% Ceniza de carbón)								
Edad (días)	Prueba	Diámetro	fuerza de Falla	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia
7	1	9.70	5924.00	80.16	38.17	67.00	39.44	82.83
	3	9.90	6143.40	79.81	38.00			
	4	9.90	6497.90	84.41	40.20			
	5	10.50	7526.30	86.92	41.39			
14	1	9.90	8015.10	104.12	49.58	86.00	52.70	110.67
	2	10.00	8776.10	111.74	53.21			
	3	10.00	8893.00	113.23	53.92			
	4	10.10	9100.30	113.59	54.09			
28	1	9.90	11839.20	153.80	73.24	100.00	73.80	154.98
	2	10.00	12217.90	155.56	74.08			
	3	10.00	12036.40	153.25	72.98			
	4	9.90	12110.10	157.32	74.91			

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo C.

4.1.3. Propiedades físico químicas de la ceniza de carbón.

4.1.3.1. Propiedades químicas de la ceniza de carbón.

Tabla 32

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.								
SiO ₂	CaCO ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Hidratación 400 C
%	%	%	%	%	%	%	%	%
32.16	5.18	4.34	6.61	13.54	3.31	1.82	11.38	21.49

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, Anexo B-3.

En la Tabla 32, podemos observar los valores calculados por la empresa Laboratorios Analíticos de Sur E.I.R.L., con cada uno de los químicos por los cuales fue ensayada la muestra.

4.1.3.2. *Propiedades físicas de la ceniza de carbón.*

Tabla 33

Propiedades físicas de la ceniza de carbón.

Propiedades físicas	
Peso específico (gr/cm ³)	2.27
Peso unitario suelto (gr/mm ³)	0.000592044
Peso unitario compactado (gr/mm ³)	0.000707654
Finura (%)	52.336
Límite líquido (%)	26.88
Índice de plasticidad (%)	26.88

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-1, B-2.

4.2. **Prueba de hipótesis.**

4.2.1. **Hipótesis general.**

- La permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ será reducida con la adición de ceniza de carbón de 6% en adición al cemento.

4.2.1.1. *Prueba de hipótesis general.*

La hipótesis general será validada con pruebas paramétricas (T Student), Como se observa se trata de valores cuantitativos, considerando como indicador la prueba T Student de una cola, con nivel de significación del 5%.

Para esta situación en específica se va a refutar, si la adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, reduce la permeabilidad de la misma, esto se realizará mediante la comparación de la permeabilidad de las losas aligeradas patrón y las losas aligeradas con adición de 6% de ceniza de carbón.

Paso N°1: Hipótesis nula e Hipótesis alternativa.

H_0 : La adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, no disminuye la permeabilidad frente a las losas aligeradas patrón.

H_1 : La adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, disminuye la permeabilidad frente a las losas aligeradas patrón.

- Hipotesis nula: $H_0: \mu_{\theta CP} \leq \mu_{\theta CCC}$
- Hipotesis alternativa : $H_1: \mu_{\theta CP} > \mu_{\theta CCC}$

Donde:

$\mu_{\theta cv}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada patron de concreto $f'c=210$ kg/cm².

$\mu_{\theta cvc}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada adicionada con 6% de ceniza de carbón en el la losa aligerada de concreto $f'c=210$ kg/cm²

Paso N° 2: Nivel de significancia:

Córdova Manuel (2003), afirma que “el nivel de significancia se fija previamente por lo general en $\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$ si para un valor dado de α , se rechaza el H_0 , entonces se dice que los resultados muestrales obtenidos, no solo son diferentes por efectos del azar, sino que son realmente significativamente diferente al nivel $\alpha \times 100\%$, es decir se espera que de 100 resultados muestrales en $\alpha \times 100\%$ de las veces se rechazara la hipótesis nula H_0 cuando realmente es verdadera”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha=0.05$

Paso N°3: Seleccionar la estadística adecuada para la prueba.

Para la presente investigación se utilizará el T de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30. Específicamente en esta hipótesis se utilizará la variación de T de Student unilateral de una cola a la derecha. Uno de los requisitos para utilizar el proceso estadístico T Student, se debe hallar el tipo de varianza que posee cada grupo de prueba.

Tabla 34

Datos para el uso de la prueba t Student (datos de permeabilidad).

Losa aligerada de concreto Patrón (kT ($10^{-16}m^2$))	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón (kT ($10^{-16}m^2$))
0.30	0.02
0.45	0.017
0.38	0.008
0.08	0.019

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

A continuación, se realiza el cálculo de la prueba F, para conocer si existe una diferencia estadística entre los grupos de estudio y el uso correcto uso de la prueba T Student

Donde:

$p \leq \alpha$: Varianza heterogéneas

$p > \alpha$: Varianza homogénea

Tabla 35

Tabla de prueba F para permeabilidad.

Prueba F	P	α	Tipo de varianza
Losa aligerada con adición 6% de ceniza de carbón.	0.000134671	0.05	Varianzas heterogéneas

Fuente: Elaboración propia.

En este caso en específico se observa que la varianza es heterogénea, de tal manera se aplicaría la prueba T Student para varianzas desiguales.

Tabla 36

Prueba t Student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón
Media	0.3025	0.016
Varianza	0.0257583	0.00003
Observaciones	4	4
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	3.568149	
P(T<=t) una cola	0.0188008	
Valor crítico de t (una cola)	3.1824463	

Fuente: Elaboración propia.

Paso N°4: Formular regla de decisión.

A continuación, formularemos la regla de decisión, tomando en cuenta que la prueba que se realizó en t Student de una cola con varianza heterogénea.

Para las muestras unilaterales se rechaza la hipótesis nula cuando.

$$\text{estadístico } t \geq \text{valor crítico de } t$$

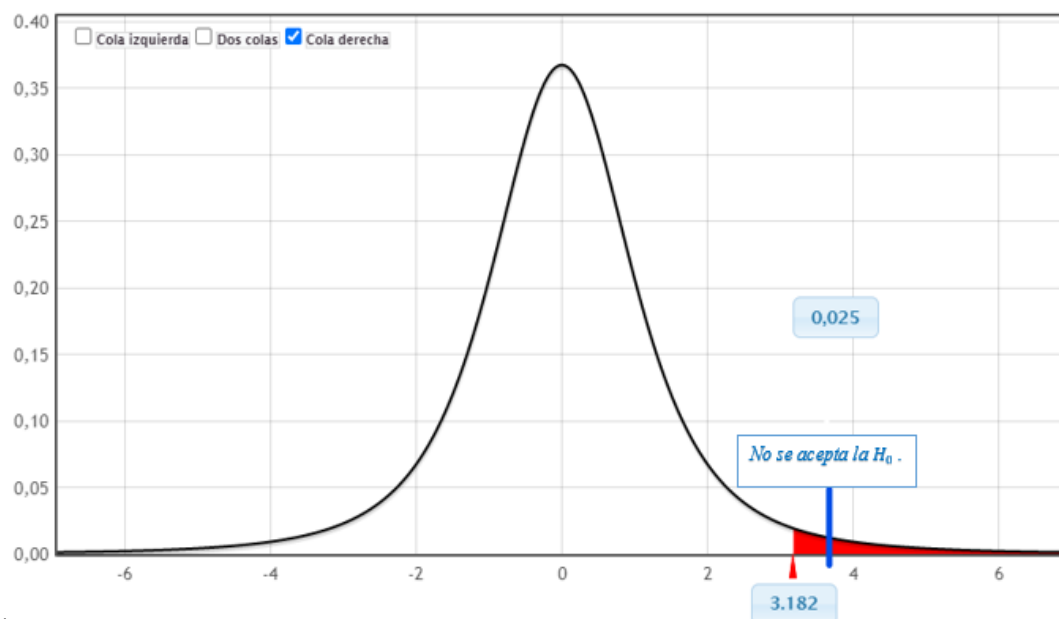


Figura 15 Gráfico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura 15 podemos notar que, el 3.56 está denotado por la línea azul, se encuentra dentro de la región en la cual no se acepta la H_0 .

Paso N°5: Toma de decisión.

La toma de una decisión se define de 3 maneras (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se ha realizado respecto a los valores estadísticos de prueba calculados anteriormente.

Tabla 37

Toma de decisión hipótesis general 01.

Descripción	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón
Grados de libertad	3
Estadístico t	3.568149024
P(T<=t) una cola	0.018800752
Valor crítico de t	3.182446305
Decisión de hipótesis	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia.

Por los cálculos estadísticos realizados mediante la prueba T Student de varianza heterogénea, podemos observar que reduce la permeabilidad con la adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.2.2. Hipótesis específica 01.

- la adición de 6% de ceniza de carbón en el cemento, aumentara la resistencia a la compresión en las losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.2.2.1. Prueba de hipótesis específica 01.

La hipótesis específica 01 será validada con pruebas paramétricas (T Student), Como se observa se trata de valores cuantitativos, considerando como indicador la prueba T Student de una cola, con nivel de significación del 5%.

Para esta situación en específica se va a refutar, si la adición de 6% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, aumenta la resistencia a la compresión de la misma, esto se realizará mediante la comparación de la resistencia a la compresión de las losas aligeradas patrón y las losas aligeradas con adición de 6% de ceniza de carbón.

Paso N°1: Hipótesis nula e Hipótesis alternativa.

H_0 : Las adiciones de 6% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, aumenta la resistencia a la compresión frente a las losas aligeradas patrón.

H_1 : Las adiciones de 6% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, no aumenta la resistencia a la compresión frente a las losas aligeradas patrón.

Hipotesis nula: $H_0: \mu_{\theta CP} \leq \mu_{\theta CCC}$

- Hipotesis alternativa : $H_1: \mu_{\theta CP} > \mu_{\theta CCC}$

Donde:

$\mu_{\theta cv}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada patron de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

$\mu_{\theta cvc}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada adicionada con 6% de ceniza de carbón en el la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Paso N° 2: Nivel de significancia:

(Manuel Córdova, 2003), afirma que “el nivel de significancia se fija previamente por lo general en $\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$ si para un valor dado de α , se rechaza el H_0 , entonces se dice que los resultados muestrales obtenidos, no solo son diferentes por efectos del azar, sino que son realmente significativamente diferente al nivel $\alpha \times 100\%$, es decir se espera que de 100 resultados muestrales en $\alpha \times 100\%$ de las veces se rechazara la hipótesis nula H_0 cuando realmente es verdadera”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha=0.05$

Paso N°3: Seleccionar la estadística adecuada para la prueba.

Para la presente investigación se utilizará el T de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30. Específicamente en esta hipótesis se utilizará la variación de T de Student unilateral de una cola a la derecha. Uno de los requisitos para utilizar el proceso estadístico T Student, se debe hallar el tipo de varianza que posee cada grupo de prueba.

Tabla 38

Datos para el uso de la prueba T Student (datos de resistencia a la compresión).

Losa aligerada de concreto Patrón (kg/cm²)	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón (kg/cm²)
236.52	223.54
240.31	214.42
235.44	201.31
245.75	210.23

Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo C.

A continuación, se realiza el cálculo de la prueba F, para conocer si existe una diferencia estadística entre los grupos de estudio y el uso correcto uso de la prueba T Student

Donde:

$p \leq \alpha$: Varianza heterogéneas

$p > \alpha$: Varianza homogénea

Tabla 39

Tabla de prueba F para resistencia a la compresión.

Prueba F	P	α	Tipo de varianza
Losa aligerada con adición 6% de ceniza de carbón.	0.290954871	0.05	Varianza homogénea

Fuente: Elaboración propia.

En este caso en específico se observa que la varianza es homogénea, de tal manera se aplicaría la prueba T Student para varianzas iguales.

Tabla 40

Prueba t Student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón
Media	239.50622	212.37654
Varianza	21.71183	85.225193
Observaciones	4	4
Varianza agrupada	53.468511	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	5.2469953	
P(T<=t) una cola	0.0009627	
Valor crítico de t	2.4469119	

Fuente: Elaboración propia.

Paso N°4: Formular regla de decisión.

A continuación, formularemos la regla de decisión, tomando en cuenta que la prueba que se realizó en t Student de una cola con varianza homogénea.

Para las muestras unilaterales se rechaza la hipótesis nula cuando.

$$\text{estadístico } t \geq \text{valor crítico de } t$$

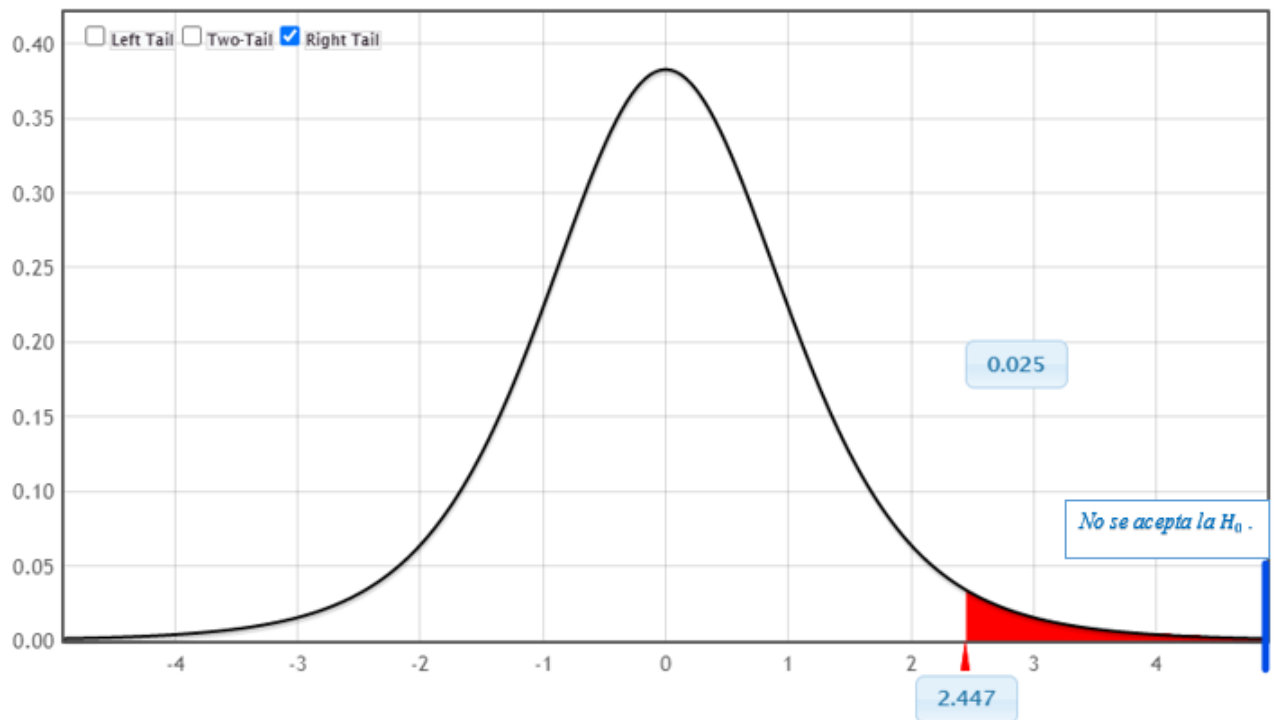


Figura 16 Grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura 16 podemos notar que, el 5.25 está denotado por la línea azul, se encuentra dentro de la región en la cual no se acepta la H_0 .

Paso N°5: Toma de decisión.

La toma de una decisión se define de 3 maneras (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se ha realizado respecto a los valores estadísticos de prueba calculados anteriormente.

Tabla 41

Toma de decisión hipótesis específica 01.

Descripción	Losa aligerada de concreto con adición del 6% de ceniza de carbón
Grados de libertad	6
Estadístico t	5.246995328
P(T≤t) una cola	0.000962681
Valor crítico de t	2.446911851
Decisión de hipótesis	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia.

Por los cálculos estadísticos realizados mediante la prueba T Student de varianza homogénea, podemos observar que reduce se acepta la hipótesis alterna la cual es “Las adiciones de 6% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{gk/cm}^2$, no aumenta la resistencia a la compresión frente a las losas aligeradas patrón”

4.2.3. Hipótesis específica 02.

- La ceniza de carbón posee propiedades físico químicas que hacen posible la reducción de la permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

4.2.3.1. Prueba de hipótesis específica 02.

Como se trata de una hipótesis de investigación descriptiva de valor teórico, la hipótesis se demuestra mediante el análisis de pruebas realizadas en laboratorio como se muestra en la tabla 42 y 43.

4.2.3.2. *Propiedades químicas de la ceniza de carbón.*

Tabla 42

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.								
SiO ₂	CaCO ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Hidratación 400 C
%	%	%	%	%	%	%	%	%
32.16	5.18	4.34	6.61	13.54	3.31	1.82	11.38	21.49

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, Anexo B-3.

Tabla 43

Propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial.

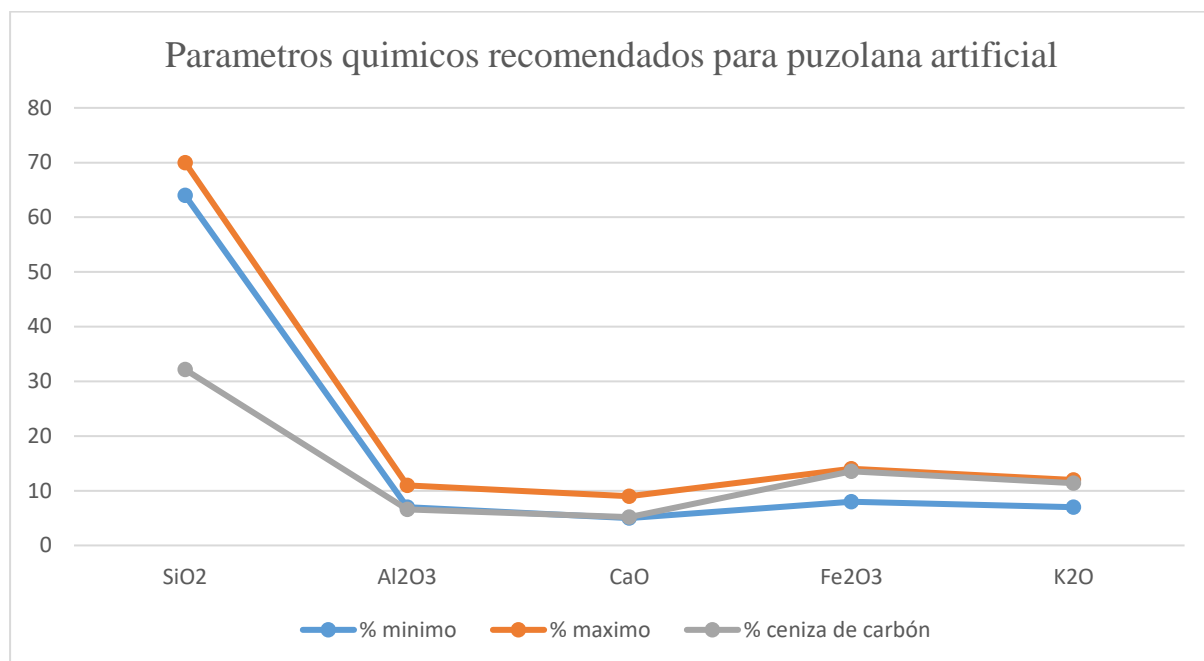
Propiedades químicas recomendadas de la puzolana artificial						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Otros
	%	%	%	%	%	%
% Mínimo	64	7	5	8	7	9
% Máximo	70	11	9	14	12	12

Fuente: (Valdivia Mejia & Valdivia Benero, 2014)

A continuación, mostraremos el Grafico 1, en el cual se mostrarán los porcentajes de compuestos químicos que poseen las puzolanas artificiales, siendo comparadas con los porcentajes que posee la ceniza de carbón.

Gráfico 1

Propiedades químicas de la puzolana artificial vs ceniza de carbón



Fuente: Elaboración Propia.

A si mismo (Quillca Paul, 2020) afirma que “Las propiedades de la puzolana dependen de la composición química y la estructura interna. Se refiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los principales óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaCO₃, K₂O) sea mayor al 70%. Se trata de puzolana artificial”. A la vez (Ecosur, 2020) sostiene que “dentro de las puzolanas artificiales se encierran las cenizas volantes, arcillas activadas, escorias o cenizas y las cenizas de residuos agrícolas”.

Por tanto, En el Grafico 1 se visualiza los parámetros químicos recomendados que debe cumplir la puzolana artificial para estar dentro del grupo mencionado, además, de los autores anteriormente mencionados, se concluye que la ceniza de carbón, no se considera puzolana artificial, pero posee gran similitud con la misma.

4.2.4. Hipótesis específica 03.

- Analizar porque con la adición de ceniza de carbón iguales o mayores al 8% son contraproducentes en la losa aligerada de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.2.4.1. Prueba de hipótesis específica 03.

La hipótesis específica 03, será validada con pruebas paramétricas (T Student), Como se observa se trata de valores cuantitativos, considerando como indicador la prueba T Student de una cola, con nivel de significación del 5%.

Para esta situación en específica se va a refutar, porque la adición de porcentajes como 8% y 10% de ceniza de carbón en las losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, es contraproducente en las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión de la losa aligerada, aumentando la permeabilidad y reduciendo la resistencia a la compresión de la misma, esta validación se realizará mediante la comparación de las losas aligeradas patrón y las losas aligeradas con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.

4.2.4.1.1. Prueba de hipótesis para Permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.

Hipótesis nula e Hipótesis alternativa.

H_0 : Las adiciones de 8% y 10% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, hace que la permeabilidad posea valores iguales a las losas aligeradas patrón.

H_1 : Las adiciones de 8% y 10% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, hace que la permeabilidad no posea valores iguales a las losas aligeradas patrón.

- Hipotesis nula: $H_0: \mu_{\theta CP} = \mu_{\theta CCC}$
- Hipotesis alternativa : $H_1: \mu_{\theta CP} \neq \mu_{\theta CCC}$

Donde:

$\mu_{\theta cv}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada patron de concreto $f'c=210$ kg/cm².

$\mu_{\theta cvc}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada adicionada con 8% y 10% de ceniza de carbón en el la losa aligerada de concreto $f'c=210$ kg/cm²

Paso N° 2: Nivel de significancia:

(Manuel Córdova, 2003) afirma que “el nivel de significancia se fija previamente por lo general en $\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$ si para un valor dado de α , se rechaza el H_0 , entonces se dice que los resultados muestrales obtenidos, no solo son diferentes por efectos del azar, sino que son realmente significativamente diferente al nivel $\alpha \times 100\%$, es decir se espera que de 100 resultados muestrales en $\alpha \times 100\%$ de las veces se rechazara la hipótesis nula H_0 cuando realmente es verdadera”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha=0.05$

Paso N°3: Seleccionar la estadística adecuada para la prueba.

Para la presente investigación se utilizará el T de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30. Específicamente en esta hipótesis se utilizará la variación de T de Student bilateral. Uno de los requisitos para utilizar el proceso estadístico T Student, se debe hallar el tipo de varianza que posee cada grupo de prueba.

Tabla 44

Datos para el uso de la prueba t Student (datos de permeabilidad para adición de 8% y 10% de ceniza de carbón).

Losa aligerada de concreto Patrón kT ($10^{-16}m^2$)	Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón kT ($10^{-16}m^2$)	Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón kT ($10^{-16}m^2$)
0.30	0.24	8.34
0.45	0.09	196.56
0.38	0.30	9.52
0.08	0.45	183.93

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

A continuación, se realiza el cálculo de la prueba F, para conocer si existe una diferencia estadística entre los grupos de estudio y el uso correcto uso de la prueba T Student

Donde:

$p \leq \alpha$: Varianza heterogéneas

$p > \alpha$: Varianza homogénea

Tabla 45

Tabla de prueba F para permeabilidad con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.

Prueba F	P	α	Tipo de varianza
Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón	0.905617021	0.05	Varianza homogénea
Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón	1.21911E-08	0.05	Varianza homogénea

Fuente: Elaboración propia.

En este caso en específico se observa que las varianzas son homogéneas, de tal manera se aplicaría la prueba T Student de dos colas para varianzas iguales.

Tabla 46

Prueba t Student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 8% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada con adición del 8% de ceniza de carbón
Media	0.3025	0.27
Varianza	0.025758333	0.0222
Observaciones	4	4
Varianza agrupada	0.023979167	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	0.296811905	
P(T<=t) dos colas	0.776616956	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

Prueba t Student para muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 10% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada con adición del 10% de ceniza de carbón
Media	0.3025	99.5875
Varianza	0.025758333	10985.19463
Observaciones	4	4
Varianza agrupada	5492.610192	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	-2.894563861	
P(T<=t) dos colas	-0.106973072	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

Fuente: Elaboración propia.

Paso N°4: Formular regla de decisión.

A continuación, formularemos la regla de decisión, tomando en cuenta que la prueba que se realizó en T Student de dos colas con varianza homogénea, para cada uno de los porcentajes evaluados.

Para las muestras bilaterales se rechaza la hipótesis nula cuando.

$$\text{estadístico } t \geq \text{valor crítico de } t$$

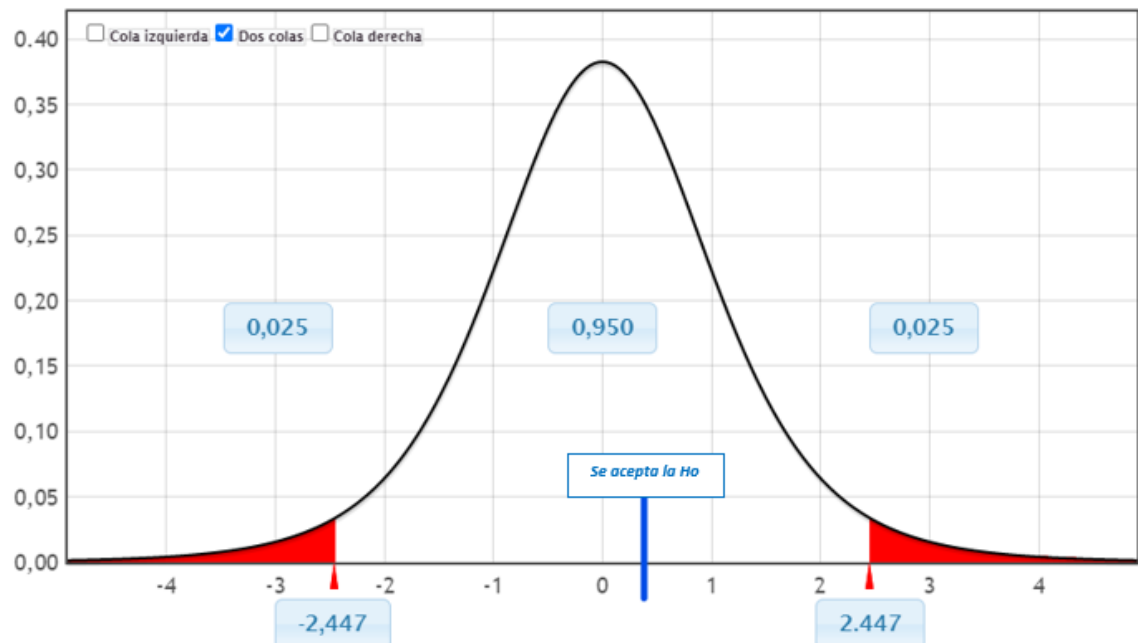


Figura 17 Grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura 17 podemos notar que, el valor de 0.29 está denotado por la línea azul, y se encuentra dentro de la región en la cual se acepta la H_0

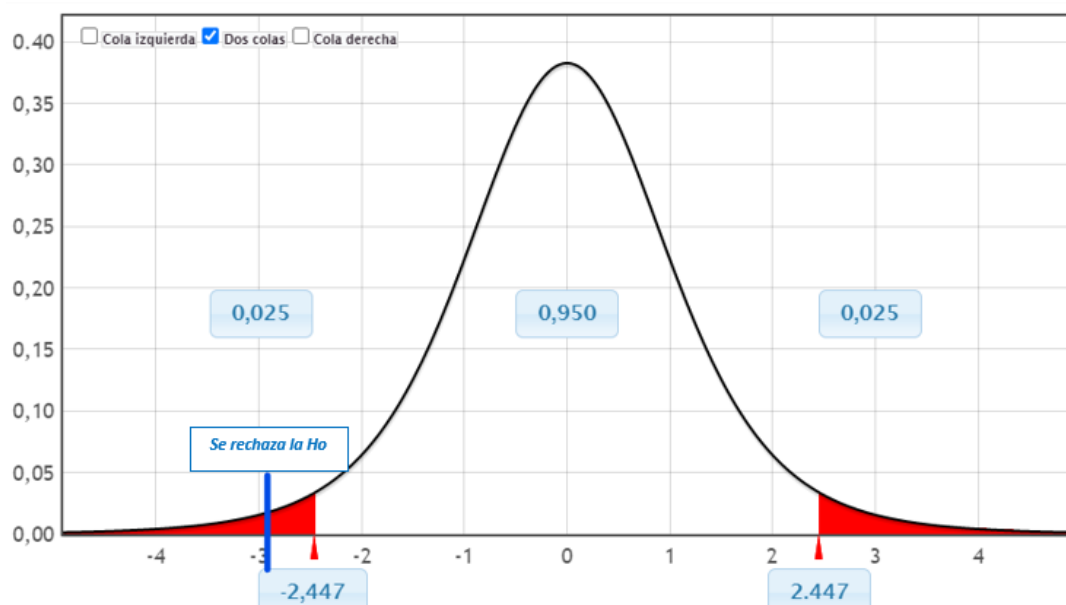


Figura 18 Grafico estadístico para losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura 18 podemos notar que, el valor del estadístico T es -2.89 y está denotado por la línea azul, y se encuentra dentro de la región en la cual no se acepta la H_0 , mostrando que se encuentra en la región donde el valor es menor a la permeabilidad de la losa aligerada patrón.

Paso N°5: Toma de decisión.

La toma de una decisión se define de 3 maneras (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se ha realizado respecto a los valores estadísticos de prueba calculados anteriormente.

Tabla 48

Toma de decisión hipótesis específica 03 (hipótesis de permeabilidad).

Descripción	Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón	Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón
Grados de libertad	6	6
Estadístico t	0.296811905	-2.894563861
P(T<=t) dos colas	0.776616956	-0.106973072
Valor crítico de t	2.446911851	2.446911851
Decisión de hipótesis	Se acepta la hipótesis nula	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia.

Por los cálculos estadísticos realizados mediante la prueba T Student de varianza homogéneo, que se acepta la hipótesis nula con la adición de 8% de ceniza de carbón y con la adición de 10% de ceniza de carbón se rechaza la hipótesis nula.

4.2.4.1.2. *Prueba de hipótesis para resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.*

Hipótesis nula e Hipótesis alternativa.

H_0 : Las adiciones de 8% y 10% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, hace que la resistencia a la compresión posea resultados iguales a las losas aligeradas patrón de concreto.

H_1 : Las adiciones de 8% y 10% de ceniza de carbón en losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, hace que la resistencia a la compresión no posea resultados iguales a las losas aligeradas patrón de concreto.

- Hipotesis nula: $H_0: \mu_{\theta CP} = \mu_{\theta CCC}$
- Hipotesis alternativa : $H_1: \mu_{\theta CP} \neq \mu_{\theta CCC}$

Donde:

$\mu_{\theta cv}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada patron de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

$\mu_{\theta cvc}$: Representa a la media aritmetica de la losa aligerada adicionada con 8% y 10% de ceniza de carbón en el la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Paso N° 2: Nivel de significancia:

(Manuel Córdova, 2003), afirma que “el nivel de significancia se fija previamente por lo general en $\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$ si para un valor dado de α , se rechaza el H_0 , entonces se dice que los resultados muestrales obtenidos, no solo son diferentes por efectos del azar, sino que son realmente significativamente diferente al nivel $\alpha \times 100\%$, es decir se espera que de 100 resultados muestrales en $\alpha \times 100\%$ de las veces se rechazara la hipótesis nula H_0 cuando realmente es verdadera”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha=0.05$

Paso N°3: Seleccionar la estadística adecuada para la prueba.

Para la presente investigación se utilizará el T de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30. Específicamente en esta hipótesis se utilizará la variación de T de Student bilateral. Uno de los requisitos para utilizar el proceso estadístico T Student, se debe hallar el tipo de varianza que posee cada grupo de prueba.

Tabla 49

Datos para el uso de la prueba t Student (datos de resistencia a la compresión para adición de 8% y 10% de ceniza de carbón).

Losa aligerada de concreto Patrón (kg/cm2).	Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón (kg/cm2).	Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón (kg/cm2).
236.52	194.84	153.80
240.31	191.67	155.56
235.44	193.37	153.25
245.75	195.18	157.32

Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo C.

A continuación, se realiza el cálculo de la prueba F, para conocer si existe una diferencia estadística entre los grupos de estudio y el uso correcto uso de la prueba T Student

Donde:

$p \leq \alpha$: Varianza heterogéneas

$p > \alpha$: Varianza homogénea

Tabla 50

Tabla de prueba F para resistencia a la compresión con adición de 8% y 10% de ceniza de carbón.

Prueba F	P	α	Tipo de varianza
Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón	0.11277798	0.05	Varianza homogénea
Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón	0.161994855	0.05	Varianza homogénea

Fuente: Elaboración propia.

En este caso en específico se observa que las varianzas son homogéneas, de tal manera se aplicaría la prueba T Student de dos colas para varianzas iguales.

Tabla 51

Prueba t Student para resistencia a la compresión con muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 8% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón
Media	239.5062233	193.7648296
Varianza	21.71183004	2.563968686
Observaciones	4	4
Varianza agrupada	12.13789936	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	18.56746546	
P(T<=t) dos colas	1.57439E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

Prueba t Student para resistencia a la compresión con muestras de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 10% de ceniza de carbón.

	Losa aligerada de concreto Patrón	Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón
Media	239.5062233	154.9846628
Varianza	21.71183004	3.398134729
Observaciones	4	4
Varianza agrupada	12.55498239	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	33.73451348	
P(T<=t) dos colas	4.51712E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	

Fuente: Elaboración propia.

Paso N°4: Formular regla de decisión.

A continuación, formularemos la regla de decisión, tomando en cuenta que la prueba que se realizó en T Student de dos colas con varianza homogénea, para cada uno de los porcentajes evaluados.

Para las muestras bilaterales se rechaza la hipótesis nula cuando.

$$\text{estadístico } t \geq \text{valor crítico de } t$$

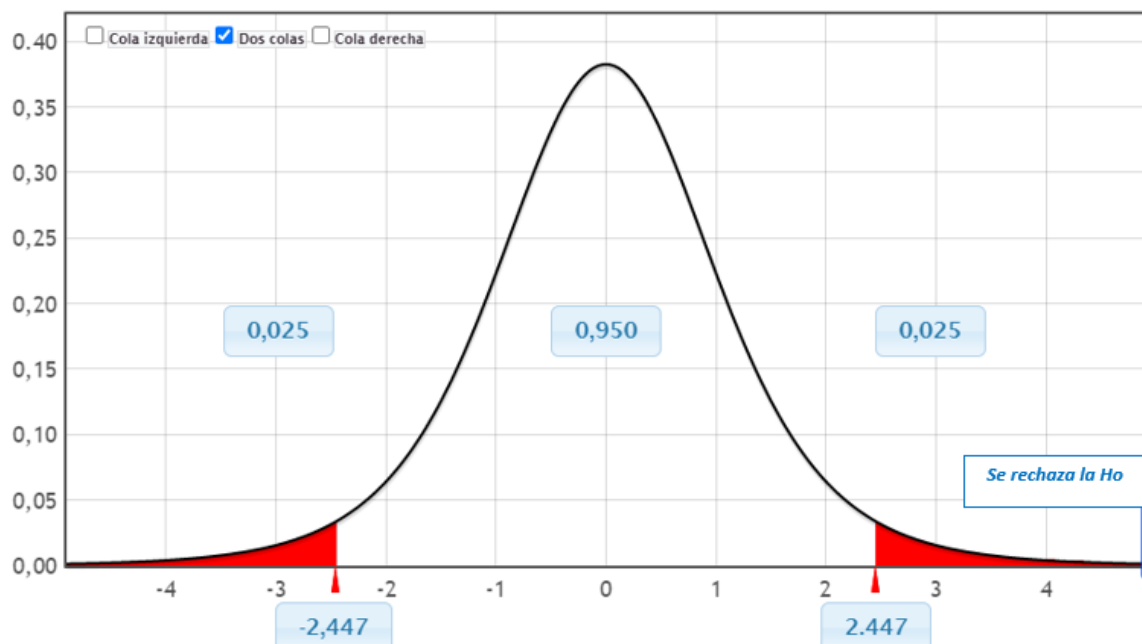


Figura 19 Gráfico estadístico para resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto con adición de 8% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura19 podemos notar que, el valor de 18.56 esta denotado por la línea azul, y se encuentra dentro de la región en la cual se rechaza la H_0 .

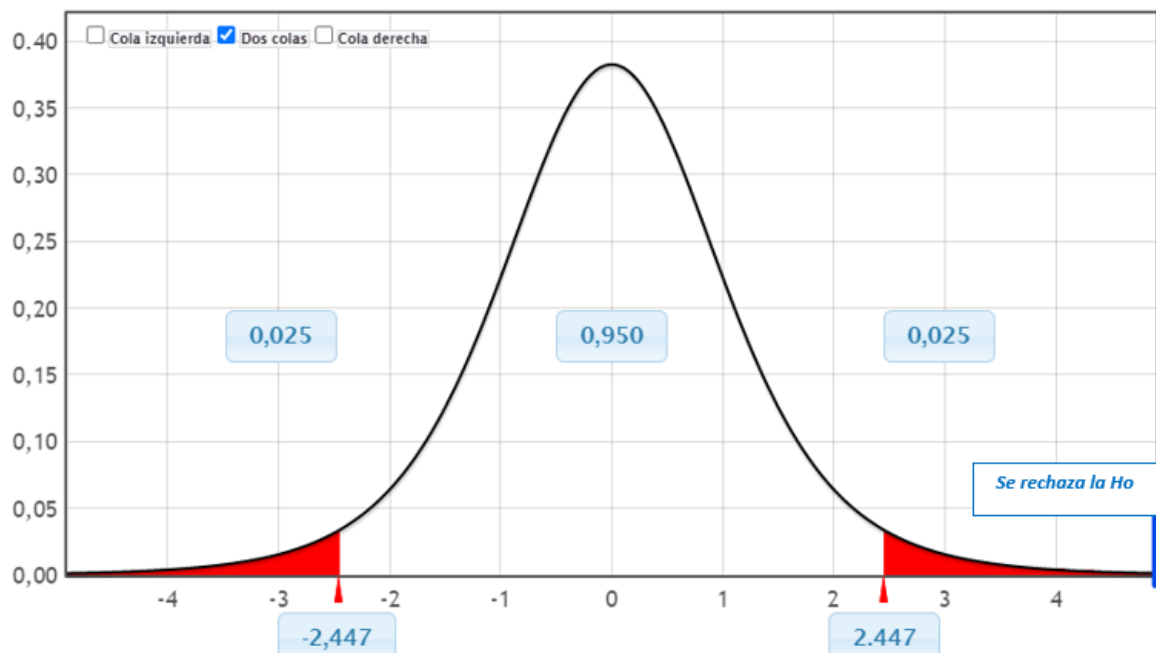


Figura 20 Grafico estadístico para resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto con adición de 10% de ceniza de carbón.

Fuente: (Statkey theoretical distribution, 2020).

En la figura 20 podemos notar que, el valor del estadístico T es 33.73 y está denotado por la línea azul, y se encuentra dentro de la región en la cual se rechaza la H_0 , mostrando que se encuentra en la región donde el valor es menor a la resistencia a la compresión de la losa aligerada patrón.

Paso N°5: Toma de decisión.

La toma de una decisión se define de 3 maneras (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se ha realizado respecto a los valores estadísticos de prueba calculados anteriormente.

Tabla 53

Toma de decisión hipótesis específica 03 (hipótesis de resistencia a la compresión).

Descripción	Losa aligerada de concreto con adición del 8% de ceniza de carbón	Losa aligerada de concreto con adición del 10% de ceniza de carbón
Grados de libertad	6	6
Estadístico t	18.56746546	33.73451348
P(T<=t) dos colas	1.57439E-06	4.51712E-08
Valor crítico de t	2.446911851	2.446911851
Decisión de hipótesis	Se rechaza la hipótesis nula	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia.

Por los cálculos estadísticos realizados mediante la prueba T Student de varianza homogéneo, en los dos casos se rechaza la hipótesis nula, por ende, se acepta la hipótesis alterna.

4.3. Discusión de resultados.

Este capítulo está destinado a la discusión de resultados, para observar el comportamiento de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de 6% de ceniza de carbón, y los factores que influyen en la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto.

4.3.1. Ceniza de carbón.

Tabla 54

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.

Propiedades químicas de la ceniza de carbón.								
SiO ₂	CaCO ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Hidratación 400 C
%	%	%	%	%	%	%	%	%
32.16	5.18	4.34	6.61	13.54	3.31	1.82	11.38	21.49

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L, Anexo B-3.

Si bien la ceniza de carbón no se encuentra clasificado como puzolana artificial, posee compuestos químicos que mejoran las propiedades químicas y físicas del concreto, se sabe que el Óxido de aluminio (Al_2O_3), se presenta en la ceniza de carbón en 6.61 %, este compuesto químico se relaciona con la arcilla que contiene dicho químico en cantidad considerable. Se considera en la composición normal de la arcilla que el porcentaje de sílice es aproximadamente el doble del correspondiente a la suma de la alúmina y el óxido férrico, y el de la alúmina es el doble del de óxido férrico.

La ceniza de carbón posee Oxido de Sílice (SiO_2), con un porcentaje de 32.16%, Este químico logra establecer una resistencia constante frente a las fuerzas de compresión. En la química de los cementos la alúmina tiene importancia ya que al igual que la sílice puede unirse en combinación con la cal y el agua, por lo que podemos concluir que la ceniza de carbón disminuye la permeabilidad del concreto.

De tal manera (Valdivia Mejia & Valdivia Benero, 2014) afirma que “La fineza de los cementos con adición de puzolana es mayor que en un cemento portland puro molido en las mismas condiciones, ya que a la fineza contribuye la de la puzolana que es mayor. Cuanto mayor sea la finura del cemento con adición de puzolana, se desarrollarán de mejor manera las reacciones de hidrólisis, dando lugar a un mayor desarrollo de hidrosilicatos, hidroaluminatos y geles por unidad de volumen”.

A si mismo (Diana M. Burgos, 2012) nos presenta. En la revista” Durabilidad de morteros adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón” (pag.16 – tabla 6) particularmente para los morteros adicionados con un 10% de ceniza volante, que presentaron un mayor coeficiente de resistencia a la penetración de agua (m), menor coeficiente de absorción capilar (K) y porosidad efectiva (e) con respecto a las demás mezclas. Esto indica que la adición de CV en un porcentaje del 10% fue efectiva en la modificación de la microestructura del material, a pesar de las características de la ceniza volante empleada. Caso contrario se aprecia al incrementar el porcentaje de adición, lo cual

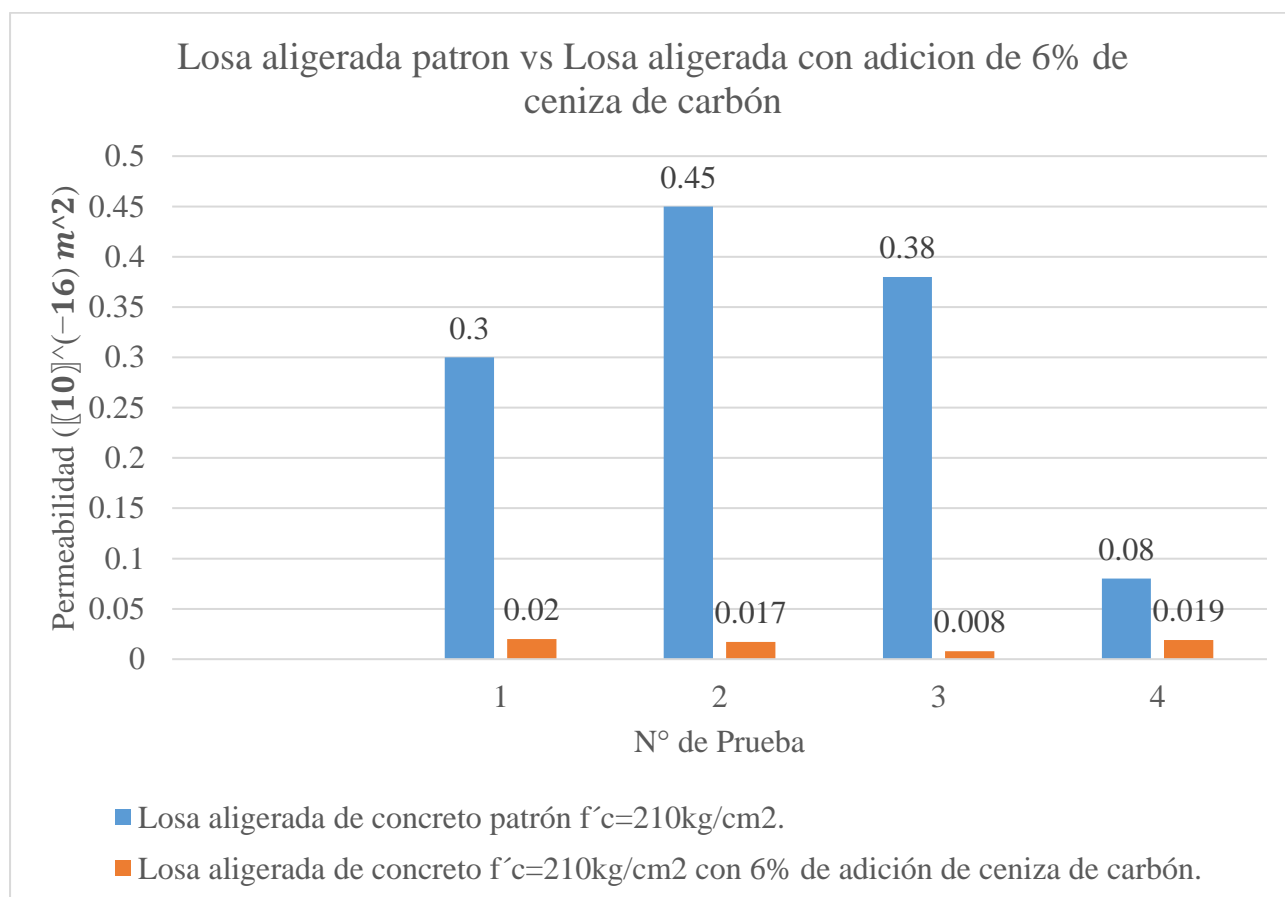
se explica por el mayor contenido de partículas carbonosas en la mezcla que conducen a una mayor porosidad efectiva.

La semejanza química entre la puzolana artificial y la ceniza de carbón, los siguientes químicos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaCO_3 , K_2O). aportan las propiedades de mejora ante la resistencia a los sulfatos y el incremento de impermeabilidad por reducción de corrosión de acero, mejor defensa ante agua del mar y resistencia a hidrosilicatos, hidroaluminatos, es así que la ceniza de carbón reduce la permeabilidad de las losas aligeradas.

4.3.2. Permeabilidad de losas aligeradas patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.

Gráfico 2

Permeabilidad de la losa aligerada. Patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.



Fuente: Certificado de laboratorios Supermix, Anexo B-4.

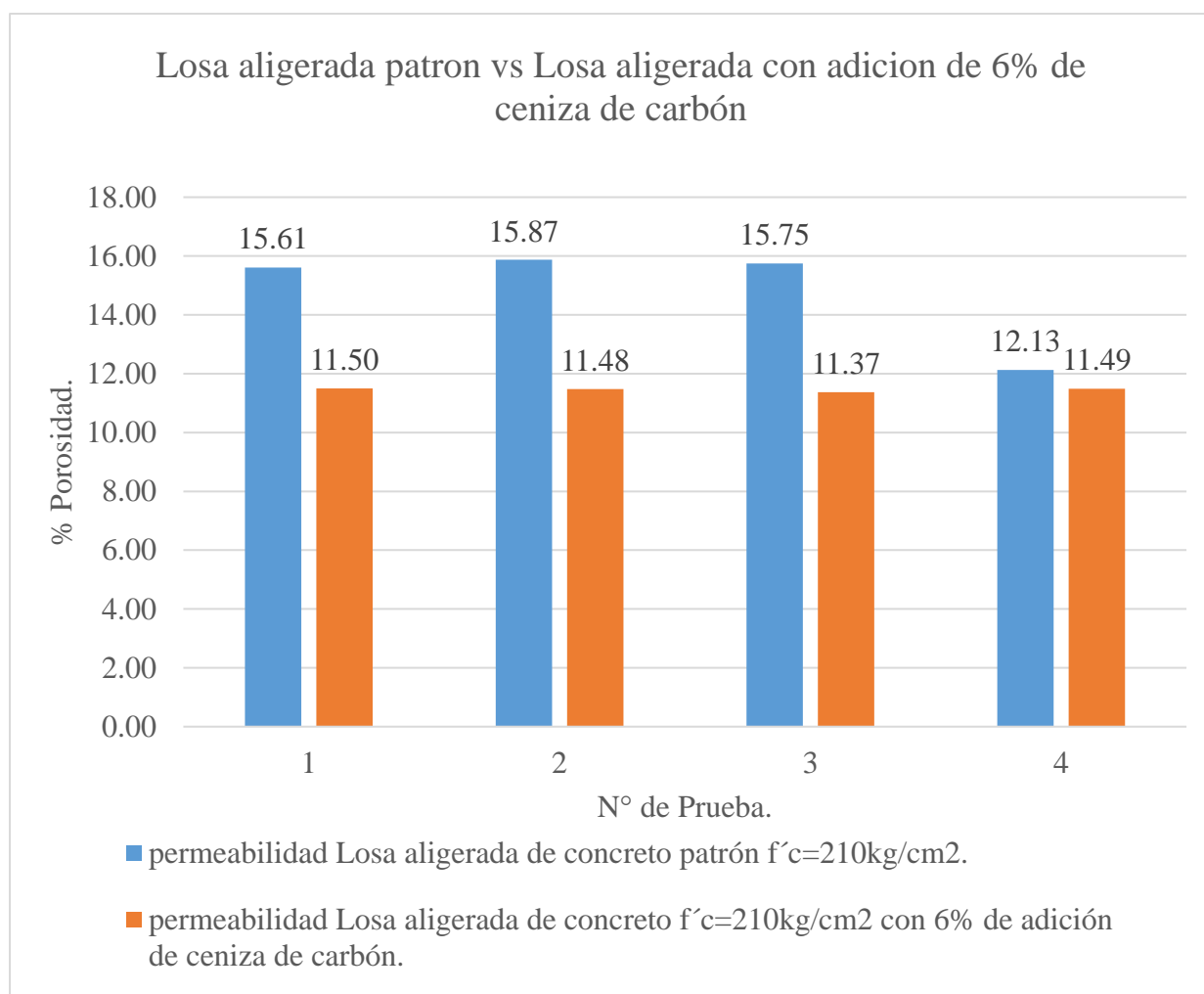
Como podemos observar en el gráfico 2, de cada uno de los puntos ensayados, la permeabilidad de la losa aligerada es reducida con la adición de la ceniza de carbón con el porcentaje de 6%, en cada uno de los puntos ensayados se ve la diferencia en el valor de permeabilidad, la losa aligerada patrón posee la etiqueta de “permeabilidad moderada”, en cuanto a la losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón, posee la etiqueta de “baja permeabilidad”.

A la vez la hipótesis general se propone que “La permeabilidad en las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ será reducida con la adición de ceniza de carbón de 6%”, mediante el cálculo estadístico T student se observa en la tabla 37, que se rechaza la hipótesis nula, aseverando que la permeabilidad de la losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, es reducida con la adición de ceniza en 6%, de esta manera se prueba estadística y gráficamente que la permeabilidad de las losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, es reducida óptimamente con la adición de ceniza en 6%.

4.3.3. Porosidad de losas aligeradas de concreto patrón vs losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.

Gráfico 3

Porosidad de la losa aligerada. Patrón vs losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón.



Fuente: Laboratorio de tecnología del concreto y materiales – UPeU, Anexo B-5.

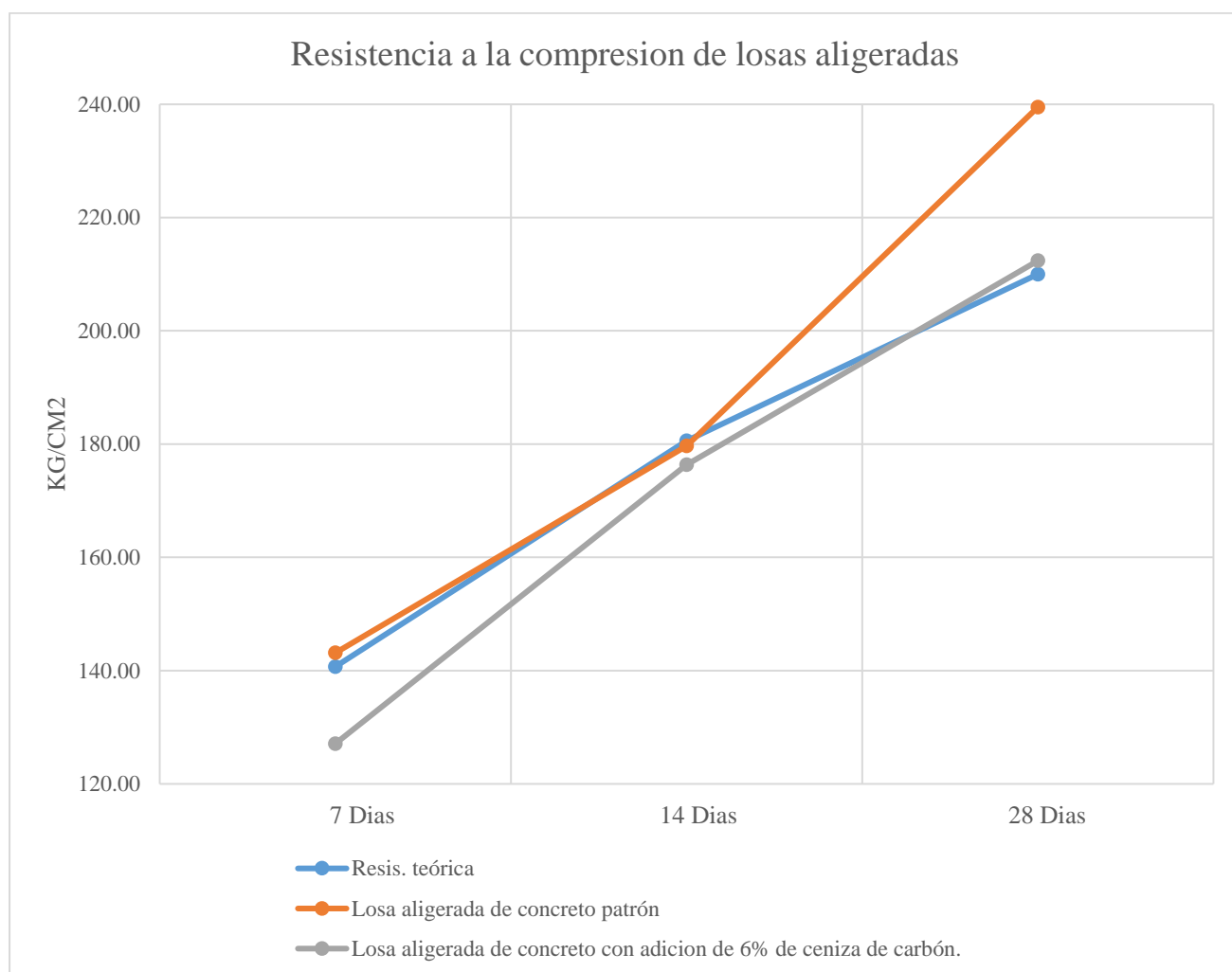
(López Orozco, 2004) menciona que “La porosidad es una característica importante del concreto y de esta dependen en parte otras propiedades como la permeabilidad y resistencia a la compresión”; Como podemos observar en el grafico 3, el porcentaje de porosidad es mayor en el caso de losa aligerada patrón, a la vez reduce la porosidad en el caso de la losa aligerada de concreto con adición de 6% de ceniza de carbón.

4.3.4. Comparación de la Resistencia a la compresión.

Se muestran los resultados promedios de resistencia final obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para las losas aligeradas de concreto patrón y losas aligeradas con adición de 6% de ceniza de carbón, tal como se muestra en la Grafico 4.

Gráfico 4

Resistencia a la compresión de losas aligeradas.



Fuente: Elaboración Propia.

Con el grafico 4, se representa gráficamente las líneas de tendencia de la resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes ensayados, se observa que la resistencia de la losa aligerada de concreto patrón es la que posee mayor valor y cumple con los estándares, a la vez se observa que la línea de tendencia de la losa aligerada de concreto

con adición de 6% de ceniza de carbón supera la resistencia teórica a alcanzar, de esta manera cumple los estándares mínimos en cuanto a resistencia a la compresión.

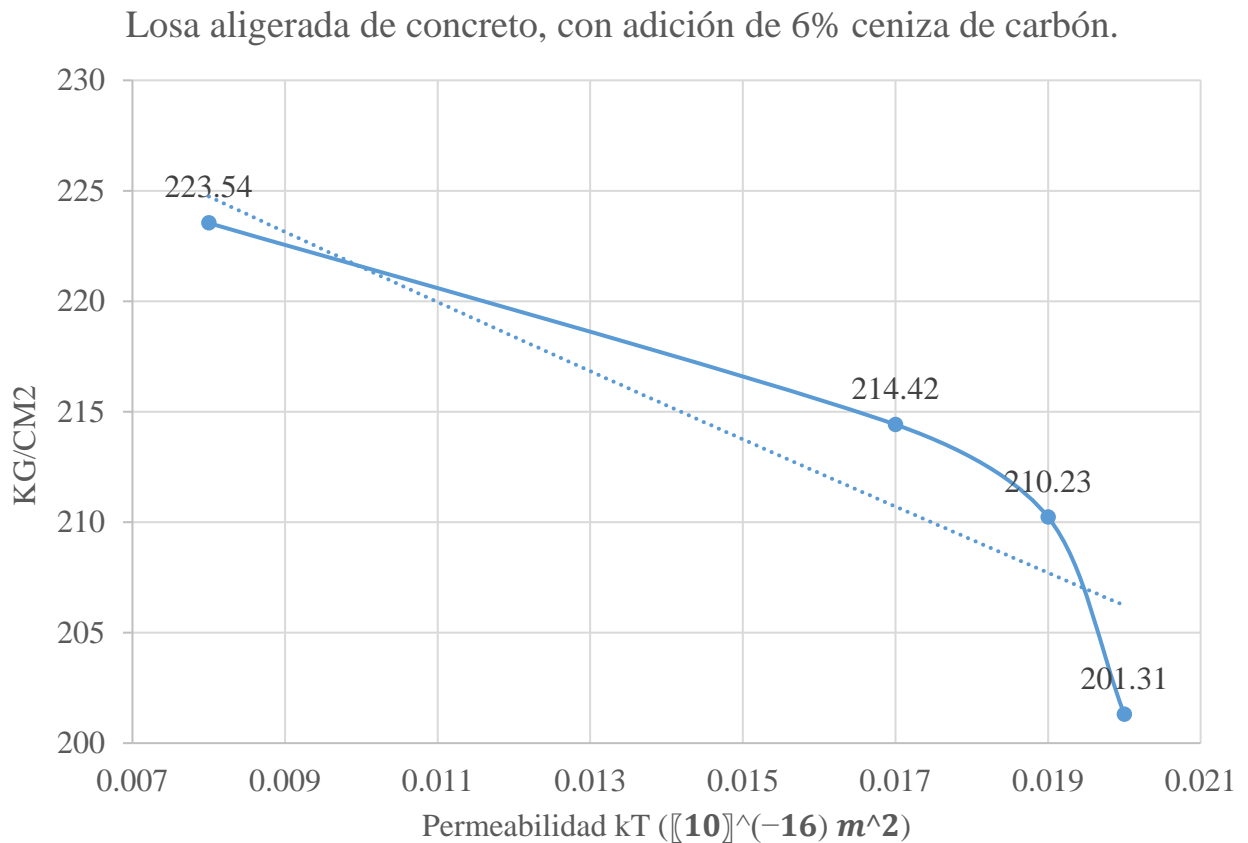
A la vez (PDF Slide, 2020) afirma que “Aunque la resistencia temprana de los concretos de cemento con adición de puzolana generalmente es menor que de los concretos de cemento portland ordinario, es probable que la resistencia final sea mayor. La más lenta reactividad del de cemento con adición de puzolana genera menos calor y puede ser ventajoso en donde el agrietamiento térmico es un problema. Además de hacer más trabajable el concreto fresco, el concreto con adición de puzolana natural tiene gran resistencia al ataque químico y su capacidad de proteger el refuerzo de acero la hace adecuada para emplear en concretos reforzados y pretensado”

(Galván Galván & Antonio de la Cruz, 2014) mencionan que “La resistencia a la compresión del concreto permeable se ve afectada fuertemente por la proporción de la mezcla. El contenido total de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y la estructura de huecos, un alto contenido de pasta dará como resultado una estructura de huecos llena y, consecuentemente, porosidad reducida”.

4.3.5. Permeabilidad vs resistencia a la compresión.

Gráfico 5

Permeabilidad vs resistencia a la compresión losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.



Fuente: Elaboración Propia.

Al observar el gráfico 5, la adición de ceniza de carbón reduce la permeabilidad en 27%, gracias a su composición química, se comporta como un material cementante, mejorando la mezcla homogénea del concreto y el proceso de hidratación del cemento, poseyendo propiedades cementantes, de esta manera la resistencia a la compresión con adición de 6% de ceniza de carbón ha disminuido con respecto a la resistencia a la compresión de las losas aligeradas de concreto patrón, en el punto 1 se posee una resistencia a la compresión de 223.54 kg/cm² y una permeabilidad de 0.008 kt, existiendo una relación indirecta entre la propiedad de permeabilidad y resistencia a la compresión, ya que a menor permeabilidad la resistencia a la compresión aumenta, si bien la resistencia a la compresión con la adición de ceniza de carbón al 6 %, cumple el estándar mínimo, gracias a las

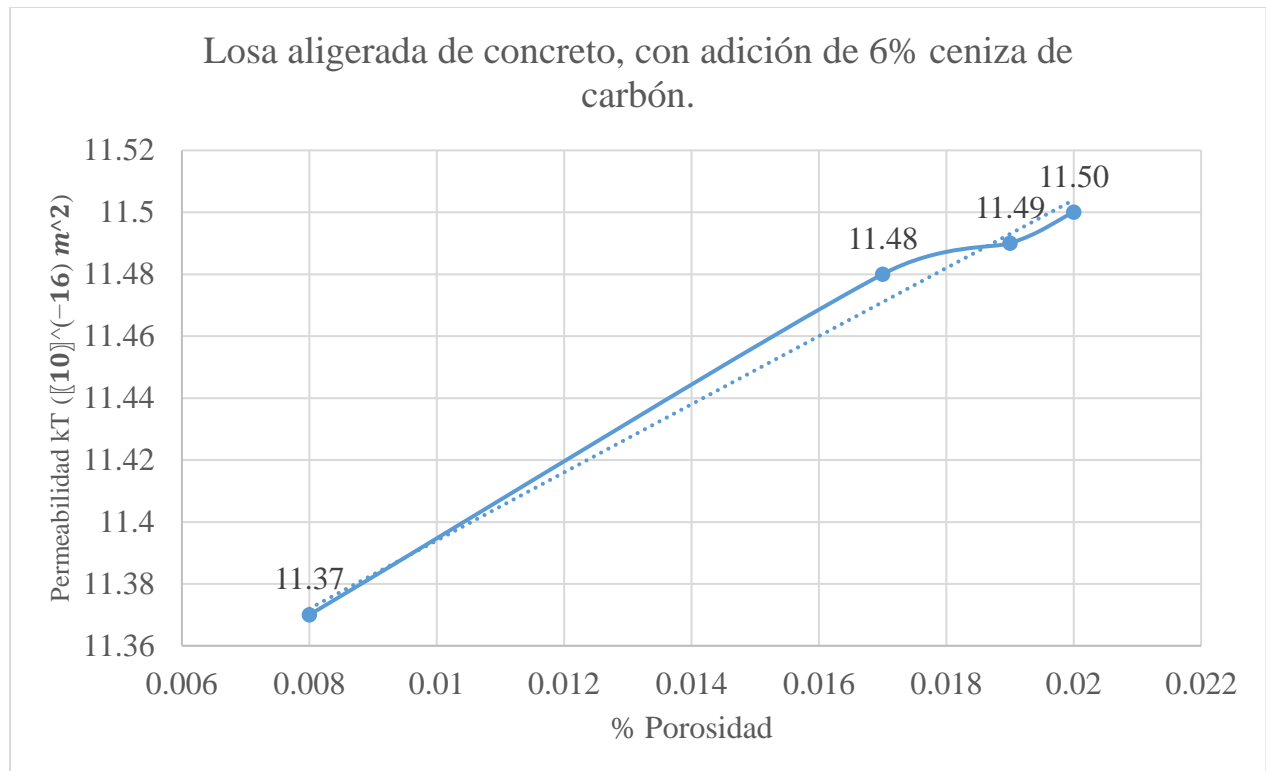
propiedades parciales de puzolana artificial, se prevé que aumente la resistencia a edades mayores.

(López & Castro, 2010), afirman mediante el artículo, “Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo”, muestran que el uso de puzolanas en reemplazo por cemento portland, produce una importante reducción en la resistencia a compresión del hormigón en el período de 28 días. A 28 días de edad, la resistencia del concreto es un 31% menor que la resistencia del concreto sin adición. Esto sugiere que a la edad de 28 días la contribución de las puzolanas no es perceptible aún. En el período 28 a 84 días la evolución del concreto con puzolanas es más pronunciada del hormigón con cemento portland puro.

4.3.1. Permeabilidad vs porosidad.

Gráfico 6

Porosidad vs permeabilidad de losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.



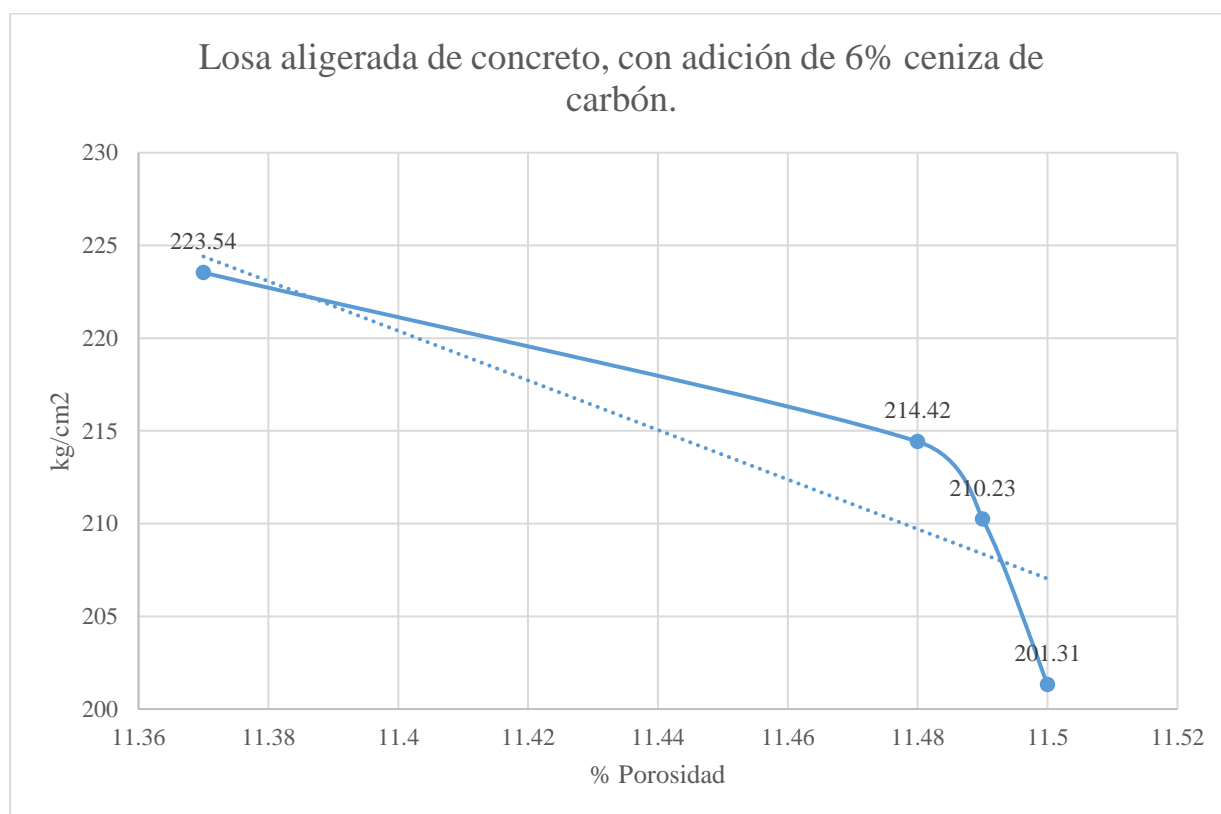
Fuente: Elaboración Propia.

La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado, es así que se explica la relación porosidad permeabilidad, observando el gráfico 6, en el punto 4 la porosidad es de 0.02 % por ende la permeabilidad aumenta (11.50 kT (10^{-16} m^2)), deduciendo que a mayor porosidad del concreto mayor grado de permeabilidad.

4.3.2. Porosidad vs resistencia a la compresión.

Gráfico 7

Porosidad vs resistencia a la compresión de losa aligerada de concreto, con adición de 6% ceniza de carbón.



Fuente: Elaboración Propia.

(Olivares, Laffarga, Galán, & Nadal, 2003) sugiere que “El aumento de huecos o poros de cualquier materia, lo mismo que en otras circunstancias, redundará siempre en una merma de sus resistencias mecánicas, al haber menor volumen-masa resistente. En consecuencia, puede deducirse que hay una relación entre la compactación/porosidad y la resistencia

mecánica”. A la vez (Calvopiña Estrella & Cubiña Cubiña, 2018) afirma que “Como resultado del proceso de análisis se determinó que los hormigones elaborados con agregados de Cerro Negro presentan un mayor porcentaje de poros por lo que su resistencia a compresión y flexión es baja, estos parámetros evidencian que la relación entre porosidad y resistencia es inversamente proporcional”. En nuestro caso en particular, en el grafico 7, se observa en el punto 1 la porosidad es de 11.37% y la resistencia a la compresión es de 223.54 kg/cm², a la vez en el punto 4 la porosidad es de 11.50% y la resistencia a la compresión es de 201.31 kg/cm², afirmando el texto anteriormente citado, a menor porosidad mayor resistencia a la compresión.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

En referencia al objetivo general. En la nota técnica “Un método rápido y no destructivo para medir la permeabilidad al aire del hormigón” – R.J. TORRENT, Pág. 55 (cuadro de rangos permitidos de permeabilidad – Método no Destructivo TORRENT), se considera que valores menores a 0.1 (kT) poseen permeabilidad de concreto baja y muy baja. En la investigación la losa aligerada de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adiciones de ceniza de carbón 6% obtiene el valor más bajo con 0.008 (kT) poseyendo la etiqueta de “baja permeabilidad”, reduciendo el porcentaje de permeabilidad en 27% frente a la losa aligerada patrón, esto se debe a la presencia de químicos como el Óxido de Sílice (SiO_2) el cual se presenta en la ceniza de carbón con 32.16%, este elemento es vital importancia ya que al igual que el óxido de Aluminio (Al_2O_3) logran unirse e homogenizar la mezcla con la cal y el agua, logrando producir modificaciones de la microestructura del concreto, provocando discontinuidad de la red porosa, por lo cual dificultan y reducen la velocidad de transporte de agentes externos, reduciendo así la permeabilidad de la losa aligerada de concreto, de esta manera se concluye que la ceniza de carbón reduce la permeabilidad de la losa aligerada.

En referencia al objetivo específico 1, El valor promedio de la Resistencia a la compresión de las Losas aligeradas patrón es de $(239.506 \text{ kg/cm}^2)$, y las losas aligeradas con adición de 6% de Ceniza de carbón poseen una resistencia a la compresión promedio de $(212.377 \text{ kg/cm}^2)$, de los resultados detallados anteriormente se observa que las losas aligeradas con adición de 6% de Ceniza de carbón, disminuyen su resistencia frente a la losa aligerada patrón en 11.33%. Esto sugiere que a la edad de 28 días la contribución de la ceniza de carbón a la resistencia a la compresión no es perceptible aún, lo cual es generado por la presencia de (hidratación 400 C) y el bajo aporte de óxido de sílice (SiO_2) lo que con lleva a un proceso de hidratación más lento, disminuyendo la resistencia a la compresión del concreto a edades tempranas. A la vez, la ceniza de carbón posee gran cantidad de propiedades puzolánicas, y autores como (López & Castro, 2010), afirman que concretos con

adición de puzolana desarrollan una mejor resistencia a la compresión, a mayores edades mayores a los 28 días, superando concretos normales. A la vez. La losa aligerada con adición de 6% de ceniza de carbón, cumple con los estándares mínimos permitidos, en cuanto a resistencia a la compresión ya que su promedio es 212.37 kg/cm², valor que supera al diseño original el cual es 210 kg/cm².

En referencia al objetivo específico 2, De los elementos encontrados mediante el análisis de laboratorio. Se conoce que los compuestos químicos, Óxido de aluminio (Al₂O₃), Óxido de Hierro (Fe₂O₃), Carbonato de calcio (CaCO₃), Óxido de potasio (K₂O) reducen la permeabilidad de la losa aligerada, dichos compuestos químicos hacen posible la mejora ante la resistencia a los sulfatos y reducción de permeabilidad por disminución de corrosión de acero, mejor defensa ante agua del mar y resistencia a hidrosilicatos, hidroaluminatos, bajo calor de hidratación y reducción de las grietas de fraguado, esto se debe a que los procesos de hidratación de los compuestos químicos (Al₂O₃, Fe₂O₃, CaCO₃, K₂O) contribuyen principalmente a reducir la interconectividad en la estructura de poros, dificultando el transporte al interior de la microestructura de la losa aligerada,

Con respecto al objetivo específico 3, Para las losas aligeradas con adición de ceniza carbón de 8% y 10%, las adiciones de ceniza de carbón son mayor, dichos concretos poseen mayor presencia de (hidratación 400 C) con 21.49%, el químico en mención genera que la ceniza de carbón posea un proceso de hidratación más lento, lo cual hace que la mezcla de concreto no sea homogénea, todo esto se deriva en la presencia de fisuras en la losa aligerada y el aumento de permeabilidad. En tal sentido, la adición de dicho material en porcentajes mayores a 6%, es contraproducente para el concreto tanto en la resistencia a la compresión y la permeabilidad, a la vez el porcentaje de poros aumenta con adiciones mayores al 6%, aumentando la exposición ambiental del material y daños provenientes de los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc.; estos elementos o compuestos originan diversas reacciones químicas, cuyo efecto más crítico es la corrosión del acero de la losa aligerada de concreto.

5.2. Recomendaciones.

- Para futuras investigaciones científicas se recomienda evaluar adiciones menores al 6% de ceniza carbón y conseguir elaborar concretos impermeables que se encuentren con la etiqueta de “muy baja permeabilidad” en la clasificación del kT ($10^{-16}m^2$).
- Se recomienda para próximas investigaciones, realizar mezclas con adición de cenizas de carbón una edad de diseño mayor a los 28 días, ya que este tipo de adición se mejoran en su totalidad a mayores edades de curado.
- Así mismo, se propone experimentar la acción de la ceniza de carbón como reemplazo del cemento en dosificaciones y así optimizar la reutilización de este desecho natural, reduciendo costos.
- Para próximas investigaciones se propone utilizar las cenizas de carbón con adición en dosificaciones y evaluar nuevas propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, tales como la trabajabilidad, densidad y la durabilidad.
- Se recomienda su aplicación para, obras de arte y drenajes en carretas, badenes, tanques de aguas industriales, reservorios, canales y uso en general en obras que requieran baja permeabilidad.

Capítulo VI. Referencias.

- Fernández García, P., Vallejo Seco, G., Livacic Rojas, P., & Tuero Herrero, E. (2014). Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. *Scielo*, 15.
- Galván Galván, L., & Antonio de la Cruz, M. (2014). Análisis de la resistencia a la compresión y los estándares en contenido de aire para concreto permeable en equipamiento urbano. *CienciAcierta*, 4.
- Acuña Giraldo, C. E., & Caballero Huaylla, H. R. (2018). Resistencia a la compresión y flexión de un concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA). *Investigacion para obter el titulo de Ingeniero civil*. UNS, Chimbote, Chimbote.
- American Concrete Institute. (2008). 224. *1R Causas, Evaluación y Reparación de fisuras en estructuras de Hormigón*. Estados Unidos: ACI.
- American Society of Testing Materials. (s.f.). ASTM C-1202. *Método de prueba de especificación para la indicación eléctrica de la capacidad de resistencia del hormigón*.
- Atoche, J. M. (2018). Influencia de la ceniza volante "fly ash" como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$. *Tesis de pre grado*. Upeu, Juliaca.
- Barreda Arias, W. H., & Cahuata Mercado, F. A. (2018). Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de concreto armado. *Tesis*. Universidad nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú.
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima, Perú.
- Cachi Navarro, Z. Y. (2019). Analisis de la resistencia a la compresion de un concreto concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sustituyendo parcialmente el cemento portland por cenizas de ratrojo de maiz. *Investigacion*. UCSS, Tarma.
- Calvopiña Estrella, O. G., & Cubiña Cubiña, P. F. (2018). Porosidad, resistencia a compresión y flexión en hormigones preparados con agregados locales; estudio comparativo mina cerro negro y Río Chambo. *Tesis-Ingeniería Civil*. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- Castillo, A. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.
- Castro P., S. M. (2001). Acción de los agentes quimicos y fisicos sobre el concreto. *Instituto Mexicano del cemento y el concreto*.
- CEDEX. (2011). Cenizas volantes de Carbón y cenizas de hogar o escorias. *Ficha tecnica CEDEX*.
- Claudia Patricia Valderrama, J. T. (2011). Características de desempeño de un concreto adicionado con cenizas volantes de alto nivel de inquemados. *tesis de pre grado*. Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- Contreras Cueva, K. N., & Peña Villalobos, J. S. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas

- volantes de carbón en la mezcla. *Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Privada de Norte, Trujillo-Perú.
- DeConceptos.com. (14 de febrero de 2020). Obtenido de <https://deconceptos.com/ciencias-juridicas/vivienda>
- Diana M. Burgos, D. E. (2012). Durabilidad del mortero adicionados con cenizas volantes de alto contenido de carbón. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 61-70.
- Ecosur. (14 de 07 de 2020). *Ecosur Network*. Obtenido de <https://www.ecosur.org/index.php/es/ecomateriales/cemento-puzolanico/716-cemento-puzolanico>
- Fernandez Ladera, D. A., & Huarcaya Escobedo, P. O. (2019). Influencia del Maguey en las Propiedades del Concreto y en el Fisuramiento de Losas Aligeradas en Huancayo. *Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.
- Fuentes Molina, N., Fragozo Tarifa, O. I., & Vizcaino Mendoza, L. (2015). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO ADICIONES EN LA ELABORACIÓN. *Ciencia e Ingenieria Neogranandina*, 17.
- Giraldo Bolivar, O. (2006). *Dosificacion de Mezclas de Hormigón*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Harmsen , T. (1995). *Supervicion de obras de concreto*. ACI, Perú.
- Huaquisto Cáceres, S., & Belizario Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Tesis para optar el Titulo de Ingeniero Civil*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). *Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza*. Perú: Dirección Nacional de Censos y Encuestas. Recuperado el 2013
- López Orozco, J. O. (2004). Porosidad del concreto. *Tesis*. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- López, M., & Castro, J. T. (2010). Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad. *Scielo*, 12.
- Maestro Homer Center. (2016). Proceso constructivo de losas aligeradas. *Maestro Homer Center*.
- Manuel Córdova, Z. (2003). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnica y pavimentos*. Lima-Perú.
- Norma Suiza. (2003). Permeabilidad al aire en estructuras de hormigón. *norma Suiza*. Suiza.
- Norma tecnica peruana . (2008). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto*. Lima-Perú.
- Norma Técnica Peruana. (2001). *NTP 400.012 analisis granulometrico*. Lima.
- Olivares, M., Laffarga, J., Galán, C., & Nadal, P. (2003). Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad. *materconstrucc*, 33.

- OMS. (2009). (WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. *Guía de la OMS sobre calidad de aire interior: Humedad y moho*. Copenhagen , Dinamarca, Europa: WHO Regional Office for Europe.
- PDF Slide. (18 de octubre de 2020). *World PDF Slide*. Obtenido de <https://pdfslide.tips/documents/puzolanas-56876dbfa8588.html>
- Quillca Paul, E. V. (14 de 07 de 2020). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare.com: <https://es.slideshare.net/edwinvictorquillcapaul/puzolanas-83510264>
- Reglamento nacional de efificaciones. (2006). *Reglamento nacional de efificaciones*. Lima - Perú: ICG.
- Statkey theoretical distribution*. (15 de enero de 2020). Obtenido de http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical_distribution/theoretical_distribution.html#normal
- Torrent, R. (1998). Un método rápido y no destructivo para medir la permeabilidad al aire del hormigón. *"Holderbank" Management y Consulting*.
- Ulloa Ponce, J. J., & Mariluz Pajuelo, M. V. (2018). Uso de las cenizas volantes de carbón excedentes de la central termoeléctrica ilo21 – moquegua como adición para mejorar las propiedades del concreto: resistencia a la compresión, absorción, manejabilidad y temperatura. *Investigacion realizada para optar el titulo de ingeniero civil*. UNS, Chimbote.
- Universidad de Cordova. (2005). Método de análisis de datos. *Investigacion*. Universidad de Alcalá Departamento de Ecología, Cordova.
- Valdivia Mejia, E. A., & Valdivia Benero, M. R. (2014). Investigación del efecto del óxido de silicio en la determinación del porcentaje de agregado en los cementos. *Tesis presentada para optar el Título Profesional de Ingenieros Quimicos*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, Arequipa-Perú.
- Villacreses Viteri, C., Miele Bravo, Y., Alcívar Moreira, S., & Pinargote Santana, Y. (2018). Patologías estructurales de los sistemas de losas de entepiso. *Investigación de Ingeniería Estructural*. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- Yapuchura Platero, R. J. (2019). Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregado de la cantera arunta – Tacna. *Título profesional de ingeniero civil*. Universidad privada de Tacna, Tacna-Perú.

Capítulo VII. Anexos.

Anexo A Ensayos de agregados.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
CANTERA	<i>Uno colla- Juliaca</i>	AUTORES	<i>René C. Apaza y Enrrique Brandon G.</i>
MUESTRA	<i>Agregado fino y grueso</i>	ASESOR	<i>Ing. Moisés Araca Chile</i>
UBICACIÓN	<i>Juliaca</i>	FECHA	<i>Agosto- Diciembre 2019</i>

ENSAYO	ANALISIS GRANULOMETRICO
---------------	--------------------------------

<i>Descripción de la muestra para agregado grueso</i>	
<i>Peso inicial (gr)</i>	<i>1507</i>
<i>Peso Lavado (gr)</i>	<i>1501</i>
<i>Peso perdido (gr)</i>	<i>6</i>
<i>TMN</i>	<i>1 1/2"</i>

<i>Descripción de la muestra para agregado fino</i>	
<i>Peso inicial (gr)</i>	<i>1064</i>
<i>Peso Lavado (gr)</i>	<i>1060</i>
<i>Peso perdido (gr)</i>	<i>4</i>
<i>Mod. de finura</i>	<i>3.1</i>

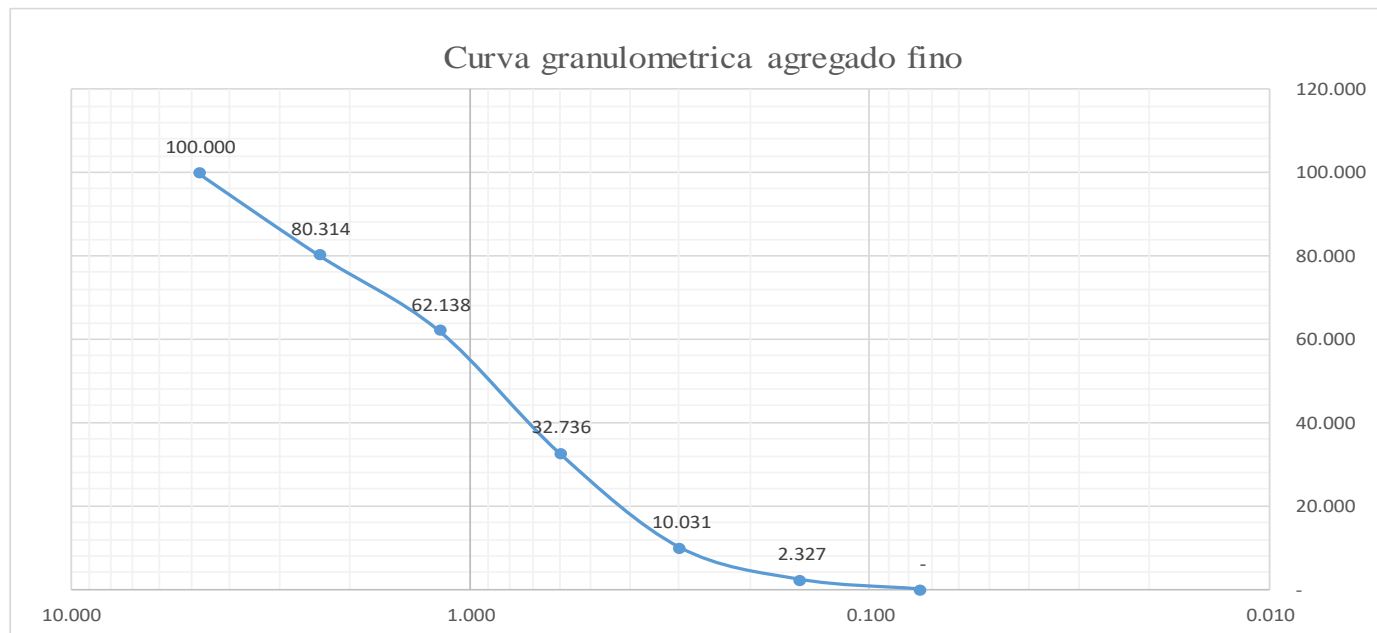
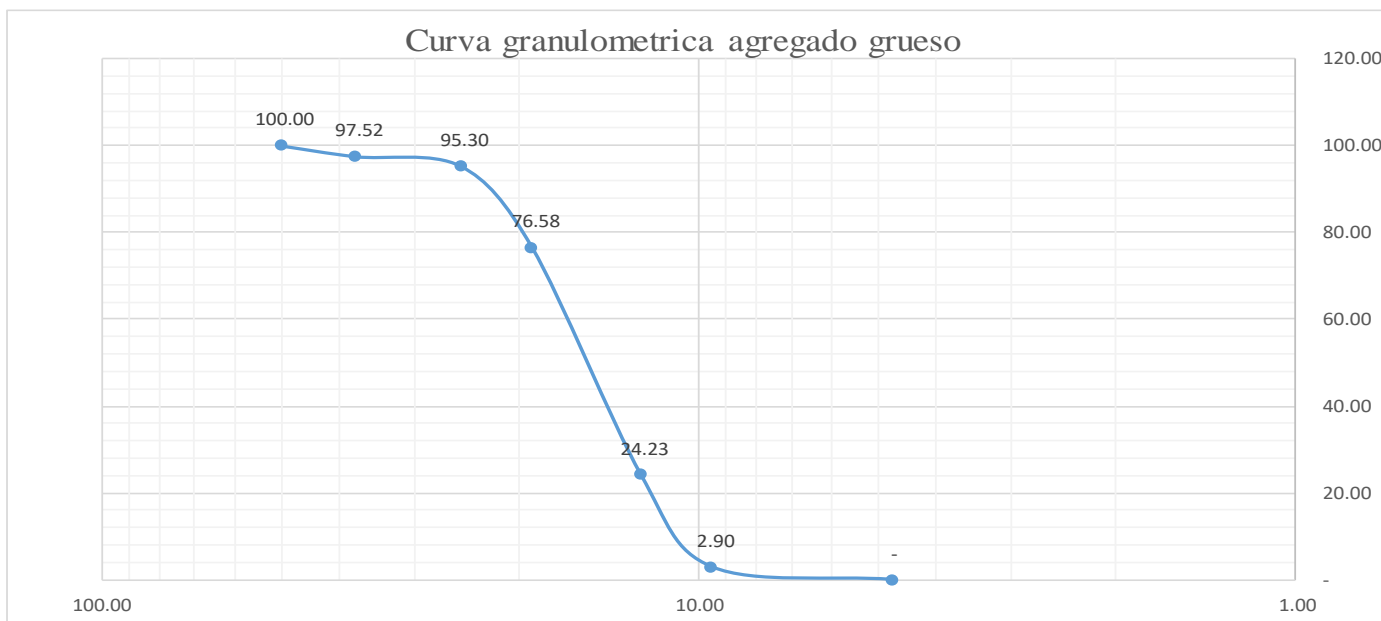
TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO COMPENSADO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2 1/2"					
2"					100.000
1 1/2"	0.370	0.372	2.482	2.482	97.518
1"	0.330	0.332	2.216	4.698	95.302
3/4"	2.806	2.808	18.722	23.420	76.580
1/2"	7.850	7.852	52.349	75.769	24.231
3/8"	3.197	3.199	21.329	97.098	2.902
Nº4	0.433	0.435	2.902	100.000	0.000
FONDO	0.014				



TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO COMPENSADO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"					
Nº4					100.00
Nº8	0.197	0.209	19.686	19.686	80.314
Nº16	0.181	0.193	18.176	37.862	62.138
Nº30	0.300	0.312	29.403	67.264	32.736
Nº50	0.229	0.241	22.704	89.969	10.031
Nº100	0.070	0.082	7.704	97.673	2.327
Nº200	0.013	0.025	2.327	100.000	0.000
FONDO	0.070				

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
CANTERA	<i>Uno colla- Juliaca</i>	AUTORES	<i>René C. Apaza y Enrique Brandon G.</i>
MUESTRA	<i>Agregado fino y grueso</i>	ASESOR	<i>Ing. Moisés Araca Chile</i>
UBICACIÓN	<i>Juliaca</i>	FECHA	<i>Agosto- Diciembre 2019</i>

ENSAYO	CURVA GRANULOMETRICA
---------------	-----------------------------





	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
CANtera	<i>Unocolla- Juliaca</i>	AUTORES	<i>René C. Apaza y Enrique Brandon G.</i>
MUESTRA	<i>Agregado fino y grueso</i>	ASESOR	<i>Ing. Mosises Araca Chile</i>
UBICACIÓN	<i>Juliaca</i>	FECHA	<i>Agosto- Diciembre 2019</i>

ENSAYO	PESO UNITARIO
---------------	----------------------

<i>DESCRIPCION</i>	<i>Agregado fino suelto</i>			<i>Agregado Grueso suelto</i>		
N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
peso molde	1849.00	1849.00	1849.00	3995.00	3995.00	3995.00
Vol. de molde	1570.80	1570.80	1570.80	5301.44	5301.44	5301.44
Peso Molde + Muestra	3989.00	3995.00	3988.00	10108.00	10115.00	10116.00
Peso Muestra	2140.00	2146.00	2139.00	6113.00	6120.00	6121.00
Peso Unitario Suelto	1.36	1.37	1.36	1.15	1.15	1.15
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	1.48			1.30		
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1476.81			1304.62		

<i>DESCRIPCION</i>	<i>Agregado fino compactado</i>			<i>Agregado Grueso compactado</i>		
N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
peso molde	1849.00	1849.00	1849.00	3995.00	3995.00	3995.00
Vol. de molde	1570.80	1570.80	1570.80	5301.44	5301.44	5301.44
Peso Molde + Muestra	4166.00	4172.00	4168.00	10910.00	10913.00	10911.00
Peso Muestra	2317.00	2323.00	2319.00	6915.00	6918.00	6916.00
Peso Unitario Suelto	1.48	1.48	1.48	1.30	1.30	1.30
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	1.48			1.30		
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1476.81			1304.62		

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
CANTERA	Unocolla- Juliaca	AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Agregado fino natural	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019



ENSAYO	PESO ESPECIFICO- ABSORCION
---------------	-----------------------------------

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO				PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO			
N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
peso de muestra SSS	250	248	253	peso de muestra SSS	5028	5025	5029
Peso de fiola	128	128	128	peso de canastilla	1550	1550	1550
peso de muestra SSS + peso de Fiola + Peso de agua	486	483	488	peso de muestra SSS + peso de Fiola + Peso de agua	4389	4392	4386
peso agua	-108	-107	-107	Peso de muestra saturada en agua	2839	2842	2836
peso de muestra seca	245	243	247	peso de muestra seca	4913	4916	4911
volumen de Fiola	250	250	250	P.E. Masa	2.24440384	2.25194686	2.23939808
P.E. Masa	0.68435754	0.68067227	0.69187675	P.E. Masa Promedio	2.245249595		
P.E. Masa Promedio	0.685635521			P.E. Masa SSS	2.29693924	2.30187815	2.29320565
P.E. Masa SSS	1.39664804	1.40056022	1.40056022	P.E. Masa SSS Promedio	2.297341015		
P.E. Masa SSS Promedio	1.399256164			P.E. Aparente	2.36885246	2.37029894	2.36674699
P.E. Aparente	2.37864078	2.3693894	2.37548936	P.E. Aparente Promedio	2.368		
P.E. Aparente Promedio	2.378			Absorcion	2.04072868	2.1172498	2.2320215
Absorcion	2.04081633	2.05761317	2.0309186	Absorcion Promedio	2.13		
Absorcion Promedio	2.04						

ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD
---------------	-----------------------------

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO				CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO			
N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	N° Ensayo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
N° de Tara	T - 001	T - 002	T - 003	N° de Tara	T - 001	T - 002	T - 003
Peso de Tara (gr.)	288	273	267	Peso de Tara (gr.)	288	273	267
P. de Tara + Muestra Humeda(gr.)	751	748	745	P. de Tara + Muestra Humeda(gr.)	765	742	729
P. de Tara + Muestra Seca (gr.)	748	715	713	P. de Tara + Muestra Seca (gr.)	748	715	713
Peso de agua(gr.)	3	33	32	Peso de agua(gr.)	17	27	16
Peso de Muestra Seca (gr.)	460.00	442.00	446.00	Peso de Muestra Seca (gr.)	460.00	442.00	446.00
Contenido de Humedad (%)	0.65	7.47	7.17	Contenido de Humedad (%)	3.70	6.11	3.59
C. de Humedad Promedio (%)	5.097708385			C. de Humedad Promedio (%)	4.463897802		

Anexo A-1 Diseño mezcla para losas aligeradas de concreto.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN			
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES			

TESIS	Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas		
CANTERA	Unocolla- Juliaca	AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Agregado fino y grueso	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	DISEÑO DE MEZCLA
--------	------------------

Selección de la resistencia promedio

Como no contamos con un registro de resultados de ensayos que nos posibilite el cálculo de desviación estándar, entonces la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la Tabla

Resistencia a la compresión promedio.

f'_c (kg/cm ²)	f'_{cr} (kg/cm ²)
menos de 210	f_c+70
210 a 350	f_c+84
sobre 350	f_c+98

El f'_{cr} requerido es de 210 kg/cm², sin embargo, utilizando la tabla es: $f'_{cr}=210+84=294$ kg/cm².

Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado es 1 ½ "

Selección de asentamiento.

Slump de 3" a 4" (mezcla plástica para losas aligeradas).

Selección de volumen unitario del concreto.

En la siguiente tabla se determina el volumen unitario de agua, o agua de diseño, necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1 ½ ".

Volumen unitario de agua.

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños max . Nominales de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
concreto con aire incorporado								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	
concreto con aire incorporado								
1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	

Para nuestro diseño la cantidad de agua es de 181 lt/ m³.

Selección de relación agua cemento.

Relación agua cemento.

f'cr (28 días)	Relación agua/cemento en peso			
	C° incorporado	sin aire	C° incorporado	aire
150	0.80		0.71	
200	0.70		0.61	
250	0.62		0.53	
300	0.55		0.46	
350	0.48		0.40	
400	0.43			
450	0.38			

Entrando en la tabla, para una resistencia promedio correspondiente a 294 kg/cm² en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua-cemento de 0.56.

Por medio de ensayos en testigos de concreto, se determina la relación de agua cemento en un valor de 0.46, ya que este valor puede ser corregido por medio de pruebas experimentales.

Factor cemento.

Factor cemento = $181 / 0.46 = 393.47 \text{ kg/m}^3 = 9.3 \text{ bolsas/m}^3$

Contenido de agregado grueso.

Tamaño máximo nominal	Volumen de agregados grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos fineza.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.70
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Entrando a la tabla, con el módulo de fineza del agregado fino de 3.12 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1 ½ “, se encuentra un valor de 0.68 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto.

Peso del agregado grueso = $0.68 \times 1304.62 = 897.57 \text{ kg/m}^3$.

Calculo de volumen absoluto.

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de volúmenes absolutos de estos ingredientes:

- Cemento: $393.47 / 2.99 \times 1000 = 0.132 \text{ m}^3$
- Agua: $181/1000=0.181 \text{ m}^3$
- Aire: $1\%/100= 0.01 \text{ m}^3$
- Agregado Grueso: $897.57/2368.85 = 0.3798\text{m}^3$
- Suma de volúmenes conocidos: 0.701 m^3
- Contenido de agregado fino.
- Volumen absoluto A. Fino = $1 - 0.701 = 0.298 \text{ m}^3$
- Peso del A. Fino Seco = $0.298 \times 2378.6 = 709.99 \text{ m}^3$

Cantidad de materiales por m3 en peso.

- Cemento: 393.47 kg/m^3
- Agua de diseño: 181 Lt/m^3
- Agregado Fino seco: 709.99 kg/m^3
- Agregado Grueso seco: 897.57 kg/m^3

Corrección por humedad del agregado.

- Peso húmedo del:
- Agregado Fino = $709.99 \times (5.1/100) + 1 = 746.205 \text{ kg/m}^3$
- Agregado Grueso = $897.57 \times (4.46/100) + 1 = 937.61 \text{ kg/m}^3$

Cantidad de materiales corregidos por m³ de concreto



- Cemento: 393 kg/m³
- Agua efectiva: 208 lt/m³
- Agregado Fino húmedo: 746 kg/m³
- Agregado Grueso húmedo: 938 kg/m³

Proporciones en peso de los materiales corregidos.

- Cemento = $393/393 = 1$
- Agregado Fino = $746/393 = 1.89$
- Agregado Grueso = $938/393 = 2.38$
- Agua = $208/393 = 0.53$.

Anexo B Ensayos realizados a Ceniza de carbón.

Anexo B-1 Peso unitario de la Ceniza de carbón.



	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN	
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura	
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES	

TESIS	Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	ceniza de carbón	ASESOR	Ing. Mosis Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	PESO UNITARIO
--------	---------------

DESCRIPCION	P.U. SUELTO			P.U. COMPACTADO		
	1	2	3	1	2	3
Peso Molde	4371	4371	4371	4371	4371	4371
Vol. de Molde	905338.48	905338.48	905338.48	905338.48	905338.48	905338.48
Peso Molde + Muestra	4907	4909	4905	5008	5015	5012
Peso Muestra	536	538	534	637	644	641
Peso Unitario	0.000592	0.0005943	0.0005898	0.0007036	0.0007113	0.000708
Peso Unit. Promedio (gr/mm ³)	0.000592044			0.000707654		

Anexo B-2 % de Finura-peso específico.

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN	
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura	
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES	

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	ceniza de carbón	ASESOR	Ing. Mosis Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	% DE FINURA - PESO ESPECIFICO
---------------	--------------------------------------

% DE FINURA			
N° de ensayo	1	2	3
Peso Tara(gr)	0	0	0
Peso Tara + Muestra(gr)	50	50	50
Peso de Muestra(gr)	50	50	50
Peso Impureza (gr)	26.169	26.3	26.035
Finura del Cemento (%)	52.338	52.6	52.07
Finura del Cemento (%)	52.336		

PESO ESPECIFICO			
N° de Ensayo	1	2	3
Volumen de Alcohol (ml o cm ³)	500	500	500
Peso Fiola (gr)	176.33	176.33	176.33
Peso Fiola + Alcohol (gr)	581.12	581.12	581.12
Peso específico del Alcohol (gr/cm ³)	0.80958	0.80958	0.80958
Peso Muestra (gr)	250	250	250
Peso de Fiola + Alcohol + Muestra(gr)	721.53	722.33	720.05
Peso Especifico Cemento (gr/cm ³)	2.281230039	2.298005331	2.250832808
Promedio Peso Esp. Cemento (gr/cm ³)	2.276689393		

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-04727

Señores: ENRIQUE BRANDON GONZALES CALLA
Dirección: JR. SAN ANTONIO LT 21-B - JULIACA - PUNO
Atención: ENRIQUE BRANDON GONZALES CALLA
Recepción: 17/08/2019
Realización: 17/08/2019
Observación: Laboratorio No realiza la toma de Muestra.

Fecha de emisión: 21/08/2019
pág.: 1/1

Método de ensayo aplicado

*594 Método de Ensayo para Rocas fusión alcalina (SiO₂, CaCO₃, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Na₂O, K₂O, LOI)

Muestra	Nombre de Muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*592 SiO ₂	*592 CaCO ₃	*592 MgO	*592 Al ₂ O ₃	*592 Fe ₂ O ₃	*592 Mn ₂ O ₃	*592 Na ₂ O	*592 K ₂ O	*592 H ₂ O
#				%	%	%	%	%	%	%	%	%
MN19009368	CENIZA DE CARBON	Ceniza	Proporcionado por el cliente	32,16	5,18	4,34	6,61	13,54	3,31	1,82	11,38	21,49
												Hidratación 400 C
												%

Siempre
SISTEMA VISUAL DE CALIDAD
100% Satisfacción

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados solo están relacionadas a la muestra ensayada.

Anexo B-4 Certificados de permeabilidad de concreto supermix.



INFORME DE ENSAYO PERMEABILIDAD DE TORRENT SIA 262/1:2013

(Pág. 1 de 2)

Cliete : Enrique Brandon Gonzales Calla
Dirección : Juliaca – Puno
Proyecto : Reducción de la Permeabilidad del Concreto con la Adición de Dosificaciones de Cenizas de Carbón, en Losas Aligeradas
Descripción del Material : 500 mm x 600 mm x 170 mm
Método de Ensayo : Swiss Standard Method SIA 262/1:2013
Fecha de Muestreo : 25/11/19
Fecha de Recepción : 16/12/19
Fecha de Ensayo : 23/12/19
Fecha de Emisión : 02/01/20
N° Informe : CC-SPX-RR-0001-2020

1. DATOS DEL EQUIPO

Nombre : Permea – TORR
Modelo : 2S

2. CONDICIONES

Ambientales : Ensayos en condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa (T° 23.1 – H.R. 21%)
Muestra : Condiciones de humedad de recepción

3. CLASIFICACION DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO EN FUNCION DE KT

CLASE	$KT(10^{-16}m^2)$	PERMEABILIDAD
PK1	<0.01	Muy Baja
PK2	0.01 - 0.1	Baja
PK3	0.1 - 1.0	Moderada
PK4	1.0 - 10.0	Alta
PK5	>10	Muy Alta

4. VALORES REGISTRADOS EN LA PERMEABILIDAD DE TORRENT

PERMEABILIDAD DE TORRENT					
Datos		Patrón	f'c 210 - 6% Ceniza	f'c 210 - 8% Ceniza	f'c 210 - 10% Ceniza
Humedad del Concreto		3.9%	3.6%	4.0%	3.7%
Edad de Ensayo		28 (días)	28 (días)	28 (días)	28 (días)
$KT(10^{-16}m^2)$		Calificación del Concreto			
Punto 1	0.30	Moderada	-	-	-
Punto 2	0.45	Moderada	-	-	-
Punto 3	0.38	Moderada	-	-	-
Punto 4	0.08	Baja	-	-	-
Punto 1	0.02	-	Baja	-	-
Punto 2	0.017	-	Baja	-	-
Punto 3	0.008	-	Muy Baja	-	-
Punto 4	0.019	-	Baja	-	-
Punto 1	0.24	-	-	Moderada	-
Punto 2	0.09	-	-	Baja	-
Punto 3	0.30	-	-	Moderada	-
Punto 4	0.45	-	-	Moderada	-
Punto 1	8.34	-	-	-	Alta
Punto 2	196.56	-	-	-	Muy Alta
Punto 3	9.52	-	-	-	Alta
Punto 4	183.93	-	-	-	Muy Alta


**INFORME DE ENSAYO
PERMEABILIDAD DE TORRENT
SIA 262/1:2013**

(Pág. 2 de 2)

5. OBSERVACIONES

Las muestras fueron entregadas por el cliente con su respectiva descripción.

Informe elaborado por:



CONCRETOS
SUPERMIX
Productos de Alta Resistencia
ING. VICTOR POSTIGO CUBA
CONTROL DE CALIDAD

Rev. y Aprobado por:



CONCRETOS
SUPERMIX
Productos de Alta Resistencia
ING. PATRICIA CARPIO SALAZAR
Lider de Control de Calidad
CIP. 106565

Anexo B-5 Porosidad de losas aligeradas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN			
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura			
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES			
TESIS	Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas			
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.	
MUESTRA	Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$	ASESOR	Ing. Moisés Araca Chile	
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019	
ENSAYO	POROSIDAD DE CONCRETO.			

$$\% \epsilon = \left(\frac{V_c}{A}\right)^2 * \frac{\mu}{2 * kt * P_a} * \left(\frac{\ln\left(\frac{P_a}{\Delta P}\right)}{\sqrt{t_f} - \sqrt{t_i}}\right)^2$$

ϵ = Porosidad del concreto.

V_c = Volumen del sistema de la cámara interna (m²).

A = Área de la celda interna (m²).

μ = Viscosidad de aire (2.0e-5 N.s/m²).

kt = Permeabilidad del concreto kT (10^{-16}m^2).

P_a = Presión atmosférica (N/m²).

ΔP = Aumento de presión en celda interna (N/m²).

t_f = Tiempo al termino del ensayo (2 a 6 min).

t_i = Tiempo al comienzo del ensayo (60 seg.).

Losa aligerada de concreto patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	ΔP (N/m2)	% ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29835275.2330	0.1561
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29796712.3567	0.1587
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29813845.7189	0.1575
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29924902.9058	0.1213

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 6% de adición de ceniza de carbón.



Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	ΔP (N/m2)	% ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29963416.0279	0.1150
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29966298.9655	0.1148
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29976988.2056	0.1137
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29964357.3017	0.1149

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 8% de adición de ceniza de carbón.

Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	ΔP (N/m2)	% ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29852905.7116	0.1555
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29931382.1288	0.1509
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29835275.2330	0.1561
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29796712.3567	0.1587

Losa aligerada de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de carbón.



Punto	Vc (m2).	A (m2).	μ (N/m2)	tf (seg.)	ti (seg.)	PA (N/m2).	ΔP (N/m2)	% ϵ
1	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	29027598.7402	0.2011
2	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	24762585.3856	0.2893
3	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	28960473.3266	0.2018
4	0.06	0.157	2.00E-05	60	360	30000000	24923845.1605	0.2886

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Concreto Patrón	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO		
--------	--	--	--



N° Prueba	Edad (días)	Díámetro (cm)	Área de Sección (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	Promedio de resistencia (kg/cm ²)
1	7	10	78.54	210	11042.1	140.59	66.95%	67%	
3	7	9.9	76.98	210	10902.3	141.63	67.44%	67%	143.13
4	7	10	78.54	210	11179.5	142.34	67.78%	67%	
5	7	9.9	76.98	210	11390.1	147.97	70.46%	67%	
1	14	9.9	76.98	210	13820.3	179.54	85.49%	86%	
2	14	10	78.54	210	14345.2	182.65	86.98%	86%	179.68
3	14	9.9	76.98	210	14123.5	183.48	87.37%	86%	
4	14	10.1	80.12	210	13863.5	173.04	82.40%	86%	
1	28	9.9	76.98	210	18206.4	236.52	112.63%	100%	
2	28	9.9	76.98	210	18498.5	240.31	114.43%	100%	239.51
3	28	10	78.54	210	18491.5	235.44	112.11%	100%	
4	28	10.1	80.12	210	19689.4	245.75	117.03%	100%	

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Concreto + 6% de ceniza de carbón	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO
---------------	---

N° Prueba	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de Sección (cm2)	Resistencia de diseño (kg/cm2)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm2)	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	Promedio de resistencia (kg/cm2)
1	7	9.9	76.98	210	9744.2	126.59	60.28%	67%	
2	7	10.1	80.12	210	10478.2	130.78	62.28%	67%	127.10
3	7	9.9	76.98	210	9300.4	120.82	57.53%	67%	
4	7	10	78.54	210	10225.4	130.19	62.00%	67%	
1	14	9.9	76.98	210	13774.6	178.94	85.21%	86%	
2	14	9.9	76.98	210	13756.3	178.71	85.10%	86%	176.36
3	14	9.9	76.98	210	13417.5	174.31	83.00%	86%	
4	14	9.9	76.98	210	13353.5	173.47	82.61%	86%	
1	28	10.1	80.12	210	17909.3	223.54	106.45%	100%	
2	28	10	78.54	210	16840.7	214.42	102.11%	100%	212.38
3	28	9.9	76.98	210	15496.5	201.31	95.86%	100%	
4	28	10	78.54	210	16511.8	210.23	100.11%	100%	

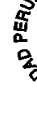

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	<i>Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas</i>		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Concreto + 8% de ceniza de carbón	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO		
---------------	---	--	--

132

N° Prueba	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de Sección (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia (kg/cm ²)
1	7	10.1	80.12	210	9134.09	114.01	54.29%	67%		
2	7	10.1	80.12	210	9149.8	114.20	54.38%	67%	54.04%	113.48
3	7	10	78.54	210	9165.2	116.69	55.57%	67%		
4	7	9.9	76.98	210	8392.8	109.03	51.92%	67%		
1	14	10.1	80.12	210	11799	147.27	70.13%	86%		
2	14	10	78.54	210	11506.9	146.51	69.77%	86%	69.79%	146.56
3	14	10	78.54	210	11560.2	147.19	70.09%	86%		
4	14	10	78.54	210	11408.5	145.26	69.17%	86%		
1	28	10	78.54	210	15302.8	194.84	92.78%	100%		
2	28	9.9	76.98	210	14754.4	191.67	91.27%	100%	92.27%	193.76
3	28	10.1	80.12	210	15492.2	193.37	92.08%	100%		
4	28	10	78.54	210	15329.3	195.18	92.94%	100%		

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		
	LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y MATERIALES		

TESIS	Reducción de la permeabilidad del concreto con la adición de dosificaciones de cenizas carbón, en losas aligeradas		
		AUTORES	René C. Apaza y Enrique Brandon G.
MUESTRA	Concreto + 8% de ceniza de carbón	ASESOR	Ing. Mosises Araca Chile
UBICACIÓN	Juliaca	FECHA	Agosto- Diciembre 2019

ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO		
--------	--	--	--

N° Prueba	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de Sección (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Promedio de Resistencia	Promedio de resistencia (kg/cm ²)
1	7	9.7	73.90	210	5924	80.16	38.17%	67%		
2	7	9.9	76.98	210	6143.4	79.81	38.00%	67%	39.44%	82.83
3	7	9.9	76.98	210	6497.9	84.41	40.20%	67%		
4	7	10.5	86.59	210	7526.3	86.92	41.39%	67%		
1	14	9.9	76.98	210	8015.1	104.12	49.58%	86%		
2	14	10	78.54	210	8776.1	111.74	53.21%	86%	52.70%	110.67
3	14	10	78.54	210	8893	113.23	53.92%	86%		
4	14	10.1	80.12	210	9100.3	113.59	54.09%	86%		
1	28	9.9	76.98	210	11839.2	153.80	73.24%	100%		
2	28	10	78.54	210	12217.9	155.56	74.08%	100%	73.80%	154.98
3	28	10	78.54	210	12036.4	153.25	72.98%	100%		
4	28	9.9	76.98	210	12110.1	157.32	74.91%	100%		

Anexo D Panel fotográfico.



Fotografía 1. Recolección del agregado de la cantera Unocolla.



Fotografía 2. Recolección del agregado de la cantera Unocolla.



Fotografía 3. Proceso granulométrico del agregado



Fotografía 4. Tamizado de agregado.



Fotografía 5. Separación de agregado por tamaño.



Fotografía 6. Peso del agregado grueso para el ensayo de peso específico y absorción.



Fotografía 7. Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso



Fotografía 8. Peso del agregado fino para el ensayo de peso específico y absorción.



Fotografía 9. Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino



Fotografía 10. Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino



Fotografía 11. Pesado del agregado grueso



Fotografía 12. Pesado de molde para el ensayo de peso unitario



Fotografía 13. Ensayo de peso unitario del agregado grueso



Fotografía 14. Vista panorámica de la ceniza de carbón.



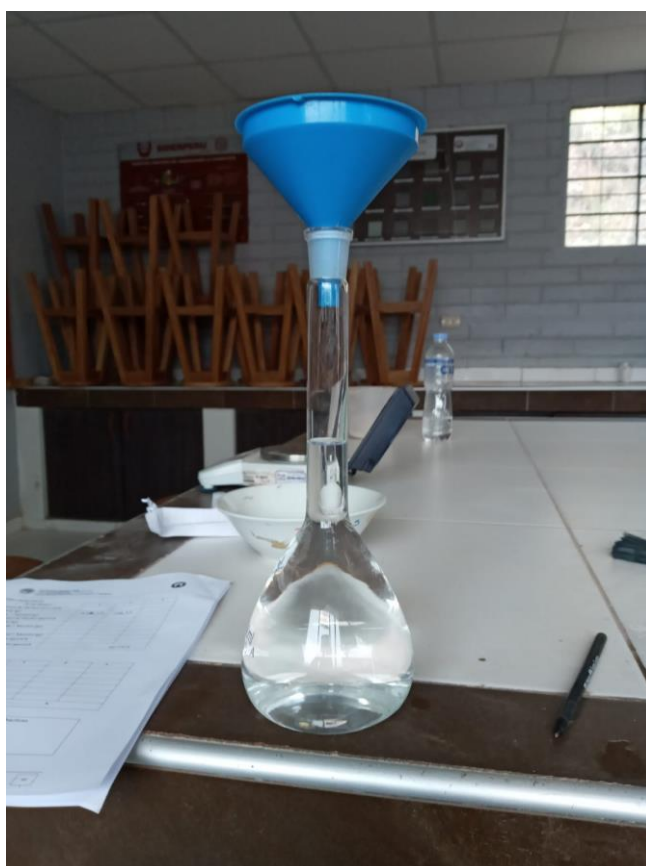
Fotografía 15. Recolección de la ceniza de carbón.



Fotografía 16. Tamizado de la ceniza de carbón.



Fotografía 17. Pesado de la ceniza de carbón para ensayo de peso específico.



Fotografía 18. Ensayo de peso específico de la ceniza de carbón.



Fotografía 19. Ensayo peso específico de la ceniza de carbón.



Fotografía 20. Ensayo de peso unitario de la ceniza de carbón.



Fotografía 21. Ensayo de peso unitario de la ceniza de carbón.



Fotografía 22. Ensayo

de peso unitario de la
ceniza de carbón.

de peso unitario de la



Fotografía 23. Ensayo de trabajabilidad para vertido de concreto.



Fotografía 24. Ensayo de trabajabilidad para vertido de concreto.



Fotografía 25. Proceso de mezclado para vertido de concreto en losas.



Fotografía 26. Adición de la ceniza de carbón a la mezcla de concreto



Fotografía 27. Adición de la ceniza de carbón a la mezcla de concreto



Fotografía 28. Vertido de concreto en encofrado para losas.



Fotografía 29. Vertido de concreto en encofrado para losas.



Fotografía 30. Proceso de enrazado para el pulido de la losa aligerada.



Fotografía 31. Vista panorámica de vertido de losas aligeradas.



Fotografía 32. Vista panorámica de vertido de losas.



Fotografía 33. Vista panorámica de vertido de losas.



Fotografía 34. Vista panorámica transporte de losas.



Fotografía 35. Vista panorámica transporte de losas.



Fotografía 36. Vista panorámica transporte de losas.



Fotografía 37. Vista panorámica en las instalaciones de SUPERMIX.



Fotografía 38. Proceso para el ensayo de permeabilidad Torrent.



Fotografía 39. Proceso para el ensayo de permeabilidad Torrent.



Fotografía 40. Vista panorámica de testigos realizados.



Fotografía 41. Vista panorámica de testigos realizados para ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía 42. Testigos desencofrados.



Fotografía 43. Proceso de curado de testigos



Fotografía 44. Proceso de ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía 45. Proceso de ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía 46. Vista panorámica de testigos roturados.



Fotografía 47. Desechado de testigos ensayados a la resistencia a la compresión.